



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

TITULACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE CARRERA

**ESTUDIO DE LA FRECUENCIA CRÍTICA
DEL AIR-BOX PERTENECIENTE A LA
MOTO2**

ALUMNA: CARMEN FERNÁNDEZ PASTOR

DIRECTORA: CRISTINA CASTEJÓN SISAMÓN

LEGANÉS, FEBRERO DE 2010

Título: Estudio de la frecuencia crítica del Air-Box perteneciente a la Moto2

Autora: Carmen Fernández Pastor

Directora: Cristina Castejón Sisamón

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día ____ de _____ de 20__
en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda
otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Resumen

En este documento se busca plasmar todos los aspectos de un ensayo de búsqueda de frecuencia crítica.

Hay varias partes importantes dentro del proyecto. Una de ellas hace referencia a la pieza escogida para el ensayo, un Air-Box. El Air-Box es una de las principales partes del sistema dinámico de admisión de una moto, en este caso de competición. Este sistema utiliza el aire desplazado por el movimiento de la moto para aumentar la potencia de la misma, mejorando su competitividad.

Es necesario asegurar un buen comportamiento del Air-Box; este documento se centrará en comprobar la respuesta frente a la vibración. Se realizan varios ensayos con los equipos de laboratorio necesarios, analizando las respuestas del Air-Box a diferentes frecuencias de excitación. De este modo se puede representar la ganancia a las frecuencias estudiadas y conocer la frecuencia crítica del Air-Box.

Tras esto se comprueba la probabilidad de que el Air-Box se vea sometido a esta frecuencia y entre en resonancia, y se desestima esta posibilidad, al ser necesario velocidades demasiado altas para alcanzar esta frecuencia

Palabras clave: Air-Box, Ram-Air, vibración, frecuencia crítica, resonancia.

Abstract

This document intends to show all aspects of a test dealing with the search of critical frequency.

There are several important parts in this project. One of them makes reference to the chosen element to make this test, an Air-Box. The Air-Box is one of the main parts in a dynamic admission system of a motorcycle, in this case a competition motorcycle. This system uses the air displaced by the motorcycle movement in order to increase its power. Thereby it improves the competitiveness of the motorcycle.

It is necessary to ensure a good performance of the Air-Box; this document will focus on checking the response to vibration. Several tests are performed with laboratory equipment, after that the Air-Box responses to different excitation are analyzed. So the gain at tested frequencies can be represented and the critical frequency of the box can be known.

Finally, the probability that the Air-Box is subjected to the resonance frequency is check, and very high speeds are necessary to reach this frequency, so this possibility is rejected.

Keywords: Air-Box, Ram-Air, vibration, critical frequency, resonance.



1. ÍNDICE

1. ÍNDICE.....	1
2. ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
3. ÍNDICE DE TABLAS.....	9
4. OBJETIVO.....	12
5. INTRODUCCIÓN TEÓRICA.....	13
5.1 Vibración.....	13
5.2 Movimiento armónico.....	14
5.2.1 Vibración libre.....	15
5.2.2 Vibración forzada y resonancia.....	17
5.3 Equipos utilizados.....	19
5.4 Air-Box.....	28
6. ANTECEDENTES.....	33
6.1 Moto2.....	33
6.2 Sistema dinámico de admisión.....	37
7. NORMATIVA.....	43
7.1 CEI 60068-2-6.....	44
7.1.1 Exigencias para el ensayo.....	45



7.1.2	Severidad.....	46
7.1.3	Ensayo.....	47
7.1.4	Otros apartados	48
8.	PREPARACIÓN DEL ENSAYO	50
8.1	Utillaje.....	51
8.2	Conexión entre equipos.....	54
9.	REALIZACIÓN DEL ENSAYO Y RESULTADOS.....	62
9.1	Ensayo I.....	63
9.2	Ensayo II.....	65
9.3	Ensayo III.....	67
9.4	Ensayo IV	69
9.5	Ensayo V	71
9.6	Ensayo VI	75
9.7	Ensayo VII	79
9.8	Ensayo VIII	86
10.	CONCLUSIONES	92
11.	PLANIFICACIÓN	97
12.	PRESUPUESTO	101
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	105
13.1	Libros.....	105
13.2	Normas	105
13.3	Manuales.....	106
13.4	Páginas electrónicas.....	106
13.5	Proyectos fin de carrera.....	105
Anexo I.	Programas	107
I.I	programa1.m	107



I.II	daq1.m.....	108
I.III	frecuencias1.m	109
I.IV	daq2.m.....	110
I.V	filtro1.m.....	110
I.VI	pruebasR.m	113
I.VII	programa2.m	113
I.VIII	daqf.m.....	114
Anexo II.	Datos adquiridos	116
Anexo III.	Resultados del filtrado.....	123
Anexo IV.	Especificación particular	136
IV.I	Contenido	136
IV.II	Objetivo	136
IV.III	Tipo de ensayo	137
IV.IV	Realización del ensayo.....	137
IV.IV.I	Antes del ensayo	137
IV.IV.II	Pilotaje	137
IV.IV.III	Severidad del ensayo	138
IV.IV.IV	Fases del ensayo.....	138
IV.V	Criterios de aceptación	138
Anexo V.	Informe de ensayo	139
V.I	Peticionario.....	139
V.II	Objetivo del ensayo	139
V.III	Necesidades materiales	140
V.IV	Lectura de la señal	141
V.V	Realización del ensayo.....	141
V.V.I	Fase I.....	142



V.V.II	Fase II.....	143
V.V.III	Fase III.....	144
V.V.IV	Resultado y conclusiones	144



2. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Onda sinusoidal.....	15
Figura 2. Representación de la fuerza restauradora mediante sistema masa-muelle	16
Figura 3. Variación de C en función de (ω/ω_n)	18
Figura 4. Generador de señales Agilent 33220A.....	21
Figura 5. Amplificador de potencia PA100E	22
Figura 6. Ventilador del amplificador	22
Figura 7. Mesa de vibración V406/8	23
Figura 8. Ventilador-aspirador del V406/8	24
Figura 9. Acelerómetro 352C03.....	26
Figura 10. Acondicionador de señal 482C05.....	27
Figura 11. Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6251 Screw Term.....	27
Figura 12. Esquema de funcionamiento de un motor sobrealimentado.....	30
Figura 13. Esquema de funcionamiento de un Ram-Air	30
Figura 14. Esquema de partes del Ram-air	31
Figura 15. Moto2	34
Figura 16. Moto2	35
Figura 17. Banco de potencia adaptado para probar el Ram-Air estáticamente.	38



Figura 18. Presiones medidas en el Air-Box en relación con la velocidad.....	39
Figura 19. Comparativa del rendimiento de un motor con/sin Ram-Air	40
Figura 20. Relación entre velocidad y presión en el Air-Box de la Honda CBR-1100xx ..	40
Figura 21. Relación entre velocidad y presión en el Air-Box de la Kawasaki ZX-7R	41
Figura 22. Relación entre velocidad y presión en el Air-Box de la Suzuki GSX-1300R...	41
Figura 23. Relación entre velocidad y presión en el Air-Box de la Yamaha Ycf-R6.....	42
Figura 24. Zona de sujeción de la mesa de vibración.....	51
Figura 25. Taladros para la fijación de la pieza.	52
Figura 26. Placa de fijación	53
Figura 27. Placa de fijación	54
Figura 28. Diagrama de bloques de los equipos del ensayo	55
Figura 29. Conector BCN (izquierda) y triaxial (derecha)	56
Figura 30. Sujección.....	57
Figura 31. Fijación chapa-mesa de vibración	57
Figura 32. Comportamiento de los montajes respecto a la frecuencia	59
Figura 33. Posiciones de la toma de datos.....	64
Figura 34. Resultado del ensayo I.....	65
Figura 35. Resultado del ensayo II	67
Figura 36. Resultados del ensayo III	69
Figura 37. Diagrama de frecuencias al excitar con 40 Hz (arriba) y 200 Hz (abajo).....	70
Figura 38. Resultados del ensayo VI.....	79
Figura 39. Resultados del ensayo VII	85
Figura 40. Resultados del ensayo VIII.....	91
Figura 41. Adquisición de datos en P	93
Figura 42. Respuesta del Air-Box a la vibración.....	95
Figura 43. Señal de 10 Hz.....	116



Figura 44. Señal de 20 Hz.....	117
Figura 45. Señal de 30 Hz.....	117
Figura 46. Señal de 40 Hz.....	118
Figura 47. Señal de 50 Hz.....	118
Figura 48. Señal de 60 Hz.....	119
Figura 49. Señal de 70 Hz.....	119
Figura 50. Señal de 80 Hz.....	120
Figura 51. Señal de 90 Hz.....	120
Figura 52. Señal de 100 Hz.....	121
Figura 53. Señal de 150 Hz.....	121
Figura 54. Señal de 200 Hz.....	122
Figura 55. Filtrado Butterworth de 1 ^{er} orden. Señal de 40 Hz.....	123
Figura 56. Filtrado Butterworth de 2 ^o orden. Señal de 40 Hz.....	124
Figura 57. Filtrado chebyshev de 1 ^{er} orden. Señal de 40 Hz.....	124
Figura 58. Filtrado chebyshev de 2 ^{er} orden. Señal de 40 Hz.....	125
Figura 59. Filtrado paso-banda. Señal de 40 Hz.....	125
Figura 60. Filtrado elimina-banda. Señal de 40 Hz.....	126
Figura 61. Filtrado paso-banda + elimina-banda. Señal de 40 Hz.....	126
Figura 62. Filtrado Butterworth de 1 ^{er} orden. Señal de 70 Hz.....	127
Figura 63. Filtrado Butterworth de 2 ^o orden. Señal de 70 Hz.....	127
Figura 64. Filtrado Chebyshev de 1 ^{er} orden. Señal de 70 Hz.....	128
Figura 65. Filtrado Chebyshev de 2 ^o orden. Señal de 70 Hz.....	128
Figura 66. Filtrado paso-banda. Señal de 70 Hz.....	129
Figura 67. Filtrado elimina-banda. Señal de 70 Hz.....	129
Figura 68. Filtrado paso-banda + elimina-banda. Señal de 70 Hz.....	130
Figura 69. Filtrado Butterworth de 1 ^{er} orden. Señal de 200 Hz.....	130



Figura 70. Filtrado Butterworth de 2º orden. Señal de 200 Hz.....	131
Figura 71. Filtrado Chebyshev de 1º orden. Señal de 200 Hz	131
Figura 72. Filtrado Chebyshev de 2º orden. Señal de 200 Hz	132
Figura 73. Filtrado paso-banda. Señal de 200 Hz	132
Figura 74. Filtrado elimina-banda. Señal de 200 Hz.....	133
Figura 75. Filtrado paso-banda + elimina-banda. Señal de 200 Hz.....	133
Figura 76. Filtrado de la señal de 40 Hz con distintos valores de R	134
Figura 77. Filtrado de la señal de 70 Hz con distintos valores de R	134
Figura 78. Filtrado de la señal de 200 Hz con distintos valores de R	135
Figura I. Posiciones de pilotaje.....	141
Figura II. Resultados de la fase I	142
Figura III. Resultados de la fase II	143
Figura IV. Resultados de la fase III.....	144
Figura V. Resultado del ensayo.....	145



3. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales características del generador de señales.....	20
Tabla 2. Principales características del amplificador.	22
Tabla 3. Principales características de la mesa de vibración	24
Tabla 4. Principales características del acelerómetro.....	25
Tabla 5. Principales características del acondicionador de señal.....	26
Tabla 6. Características de la tarjeta de adquisición de datos.....	28
Tabla 7. Características del motor	36
Tabla 8. Características dimensionales.....	36
Tabla 9. Características de los frenos	36
Tabla 10. Características de los neumáticos	36
Tabla 11. Otras características.....	37
Tabla 12. Tolerancias de la señal de pilotaje.....	45
Tabla 13. Tolerancias de la frecuencia	46
Tabla 14. Extremos posibles del rango de frecuencias.	47
Tabla 15. Duraciones posibles para los ensayos	47
Tabla 16. Características del ensayo I.....	63
Tabla 17. Resultados del ensayo I	64



Tabla 18. Características del ensayo II.....	66
Tabla 19. Resultados del ensayo II	66
Tabla 20. Características del ensayo III.....	68
Tabla 21. Resultados del ensayo III.....	68
Tabla 22. Características del ensayo IV	70
Tabla 23. Características del ensayo V	72
Tabla 24. Características del ensayo VI	76
Tabla 25. Resultados del ensayo VI	78
Tabla 26. Características del ensayo VII	80
Tabla 27. Resultados de la lectura en P	81
Tabla 28. Resultados de la lectura en A.....	82
Tabla 29. Resultados de la lectura en B.....	83
Tabla 30. Toma de datos para sustituir los erróneos.....	83
Tabla 31. Resultados del ensayo VII	84
Tabla 32. Características del ensayo VIII	86
Tabla 33. Resultados de la lectura en P.....	87
Tabla 34. Resultados de la lectura en A.....	88
Tabla 35. Resultados de la lectura en B.....	89
Tabla 36. Resultados del ensayo VIII	90
Tabla 37. Respuesta del Air-Box a la vibración	94
Tabla 38. Actividades y duración en días	97
Tabla 39. Calendario de actividades	98
Tabla 40. Diagrama de Gantt	100
Tabla 41. Presupuesto de material del ensayo.....	102
Tabla 42. Presupuesto de mano de obra del ensayo	102
Tabla 43. Presupuesto del ensayo	102



Tabla 44. Presupuesto de material del proyecto	103
Tabla 45. Presupuesto de mano de obra del proyecto	103
Tabla 46. Presupuesto del proyecto	104
Tabla I. Relación de equipos utilizados y datos sobre su calibración	140
Tabla II. Características de la fase I	142
Tabla III. Características de la fase II	143
Tabla IV. Características de la fase III	144



4. OBJETIVO

El objetivo principal de este proyecto es asegurar el correcto funcionamiento de la pieza escogida, el Air-Box de la moto diseñada por esta universidad para participar en Moto2, la nueva categoría del mundial de motociclismo que ha sustituido a la anterior 250 cc. Concretamente, este proyecto se centrará en el comportamiento dinámico del Air-Box, más específicamente, se estudiará la respuesta del elemento cuando se somete a distintas vibraciones.

Mediante el estudio de las respuestas del Air-Box a la vibración, se intentará determinar la frecuencia crítica de la pieza. Gracias a los resultados obtenidos, se busca poder asegurar que el comportamiento del Air-Box frente a las oscilaciones a las que se verá sometido durante su vida útil será el esperado.



5. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Para comprender el significado de este proyecto antes hemos de tener muy claros los dos aspectos que unidos dan forma al mismo, éstos hacen referencia tanto a la pieza objeto de este estudio, como a la realización del mismo.

Inicialmente se introducirá el concepto de vibración, ahondando en él y centrando el estudio teórico en los ámbitos concretos que son de utilidad para este proyecto. También se expondrán los equipos utilizados en el desarrollo de este proyecto, así como su funcionamiento y principales características.

Finalmente, se tratarán aspectos básicos del Air-Box, como parte de un sistema de admisión dinámico.

5.1 *Vibración*

Entendemos por vibración^[1] y ^[2] el movimiento de vaivén de una partícula alrededor de un punto fijo, en esta definición se observa claramente que su ámbito de aplicación corresponde al nivel microscópico. Sin embargo, podemos ampliar esta definición a la oscilación de los sistemas mecánicos, que debido a su elasticidad oscilan alternativamente en torno a su posición de equilibrio. Todos los sistemas poseen la capacidad de vibrar y la mayoría de ellos pueden hacerlo libremente y de formas muy variadas.

Como ya hemos citado en el párrafo anterior la oscilación de los sistemas mecánicos se debe a su elasticidad, en los átomos y moléculas ocurre algo similar. Cuando las partículas se



desplazan de su configuración normal, surge una fuerza elástica restauradora que tiende a desplazar los elementos hacia su posición de equilibrio. Si sumamos esta fuerza elástica restauradora, existente tanto a nivel microscópico como macroscópico, y las fuerzas de inercia que actúan en todos los sistemas materiales, describiremos los movimientos oscilatorios de la materia.

Como norma general, las vibraciones naturales predominantes en los objetos de pequeño tamaño suelen ser rápidas. Por el contrario, las oscilaciones predominantes en los objetos de mayor tamaño son de menor velocidad.

El Air-Box objeto de estudio en este proyecto se ve sometido a las vibraciones no sólo producidas por el funcionamiento de los mecanismos internos de la motocicleta, también sufre las oscilaciones del conjunto de la moto como resultado de la rodadura de los neumáticos en su desplazamiento. Ambos movimientos pueden considerarse oscilaciones armónicas ya que se deben principalmente a componentes giratorios, por lo que de ahora en adelante este documento se centrará en este tipo de vibraciones.

5.2 *Movimiento armónico*

El movimiento armónico^[3] es de tipo periódico y, tal como su nombre indica, describe su desplazamiento en función del tiempo como una función armónica, es decir, una función seno o coseno. En el movimiento armónico se produce una oscilación, en la cual el elemento se aleja y acerca de la posición de equilibrio, situada en el centro de la trayectoria y describe una sinusoide con su posición respecto al centro. Para estudiar este tipo de movimiento es necesario conocer algunas definiciones básicas sobre vibraciones, éstas se desarrollan a continuación, además se representan gráficamente algunos de estos términos en la figura 1.

Ciclo. El ciclo es la parte más pequeña del movimiento (o serie de sucesos en la utilización más general) que, al repetirse, forma el mismo.

Frecuencia. La frecuencia (f) es el número de ciclos por unidad de tiempo, se mide en hertzios (Hz). Así mismo, se definirá la frecuencia angular (ω) cuyo significado es similar al de la frecuencia con la salvedad de tener como unidades los rad/s.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Ec. 1

Periodo. El periodo (T) es el tiempo que tarda en realizarse un ciclo, y por tanto el periodo es recíproco a la frecuencia.

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{Ec. 2}$$

Elongación. La elongación (x) es la distancia que existe, en cualquier instante, entre la posición de la partícula y la posición de equilibrio.

Amplitud. La amplitud es el mayor desplazamiento, o elongación, alcanzado por el cuerpo durante un ciclo.

Ángulo de fase. Al representar en unos ejes coordenados un fasor cuya longitud tome el valor de la amplitud de la onda y con frecuencia igual a la de la vibración de estudio y que por tanto represente el comportamiento de la misma, el ángulo de fase (φ) será el formado por el fasor y el eje horizontal en el instante $t=0$.

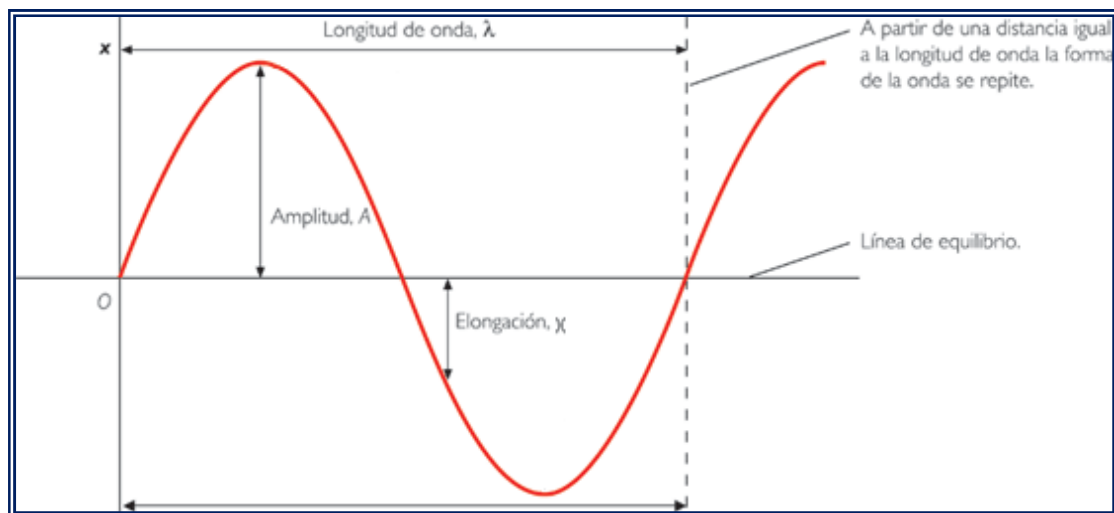


Figura 1. Onda sinusoidal

5.2.1 Vibración libre

Una vez definidos los principales conceptos de la vibración, se estudiarán las ecuaciones que satisfacen su comportamiento. Esto se hará comenzando por el caso más simple, las vibraciones libres.

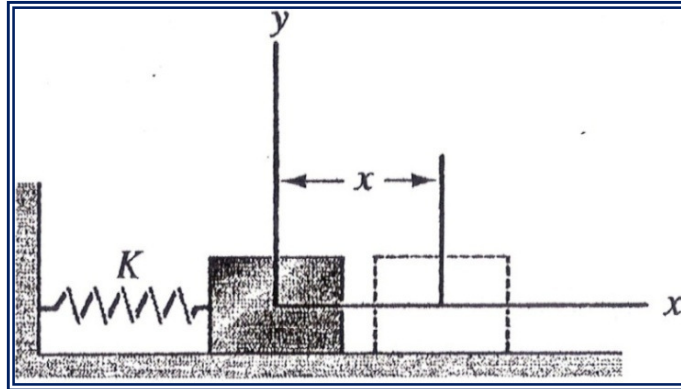


Figura 2. Representación de la fuerza restauradora mediante sistema masa-muelle

Anteriormente se mencionó que la fuerza restauradora es una fuerza elástica por lo que la fuerza es directamente proporcional a la elongación y de sentido contrario, tal y como se expresa en la ecuación 3:

$$F = -k \cdot x \quad \text{Ec. 3}$$

Además conocemos la ecuación general de movimiento lineal, en la cual expresaremos la aceleración como derivada segunda de la posición:

$$F = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \quad \text{Ec. 4}$$

Si combinamos las ecuaciones 3 y 4 obtenemos que la ecuación que rige el movimiento vibratorio del cuerpo se reduce a:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0 \quad \text{Ec. 5}$$

En la ecuación 5 encontramos el término k/m cuyas unidades son s^{-2} , y cuyo valor se puede relacionar fácilmente con la frecuencia, mediante la expresión:

$$\omega = \sqrt{k/m} \quad \text{Ec. 6}$$

Tras sustituir Ec.6 en Ec.5, y resolver la ecuación diferencial resultante, se obtiene el valor de x en función de t , siendo el resultado:

$$x = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot t + \varphi) \quad \text{Ec. 7}$$



5.2.2 Vibración forzada y resonancia

La vibración forzada hace referencia a los fenómenos notables que se presentan cuando un oscilador físico se somete a una fuerza impulsora mediante un agente externo. Dentro de este apartado hay que considerar *resonancia* como la palabra clave.

Probablemente la característica más chocante de un oscilador impulsado exteriormente es el modo con que una fuerza periódica de un valor fijo produce diferentes resultados dependientes de su frecuencia.

En particular, si la frecuencia impulsora se hace muy próxima a la frecuencia natural, la amplitud de oscilación aumenta considerablemente, mediante aplicaciones repetidas de una fuerza muy pequeña. A este fenómeno en concreto es al que se denomina resonancia. Una fuerza del mismo valor aproximadamente a la anterior, a una frecuencia bastante por encima o por debajo de la frecuencia de resonancia es mucho menos eficaz al producir una amplitud menor de oscilación.

Es normal en este tipo de movimiento que el sistema impulsado se vea obligado a aceptar cualquier frecuencia de repetición que tenga la fuerza impulsora. Si el cuerpo se encuentra vibrando a su frecuencia natural ω_n y se le somete a una fuerza impulsora periódica, ésta intentará imponer su frecuencia ω al oscilador. Por tanto, es de esperar que el movimiento real se deba a la superposición de oscilaciones correspondientes a las dos frecuencias. En la etapa inicial, denominada etapa transitoria, ambos movimientos son importantes. Sin embargo, después de un tiempo el único movimiento presente es la oscilación forzada a la frecuencia ω , cuando esta condición se alcanza, se llega al estado estacionario.

Tras el anterior análisis cualitativo de las vibraciones forzadas, se comienza con el estudio cuantitativo, para lo cual se orienta este texto hacia las expresiones que gobiernan este comportamiento con precisión.

Si se considera la actuación de una fuerza sinusoidal de amplitud F_0 y de frecuencia ω y se considera que en el instante inicial $t=0$ es conocida tanto la masa, como la velocidad y posición, se tendrán datos suficientes como para investigar el movimiento resultante. Partiremos de la ley de Newton al igual que en el caso de vibraciones libres, obteniendo en este caso la ecuación:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m} \cdot x = \frac{F_0}{m} \cdot \text{sen}(\omega \cdot t) \quad \text{Ec. 8}$$

Esta ecuación diferencial es no homogénea y para su resolución habrá que realizar dos procesos, inicialmente se obtendrá la solución general de la ecuación homogénea correspondiente, y, tras esto, se hallará la solución particular capaz de satisfacer la ecuación en su totalidad. La suma de estas dos soluciones es la solución general de la ecuación. La solución x_p tiene la forma expresada en Ec. 9.

$$x_p = C \cdot \text{sen}(\omega \cdot t) \quad \text{Ec. 9}$$

Al sustituir el valor de x_p y sus derivadas necesarias en Ec. 8 obtenemos:

$$-C \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t) + \frac{k}{m} \cdot C \cdot \text{sen}(\omega \cdot t) = \frac{F_0}{m} \cdot \text{sen}(\omega \cdot t) \quad \text{Ec. 10}$$

De aquí despejamos el valor de C y obtenemos:

$$C = \frac{F_0/m}{k/m - \omega^2} = \frac{F_0/k}{1 - (\omega/\omega_n)^2} \quad \text{Ec. 11}$$

donde $k/m = \omega_n^2$. Conocida esta solución es útil estudiar la variación de la amplitud estacionaria de x_p con respecto a la relación entre la frecuencia del sistema externo y la propia del oscilador (ω/ω_n) tal y como se presenta en la figura 3.

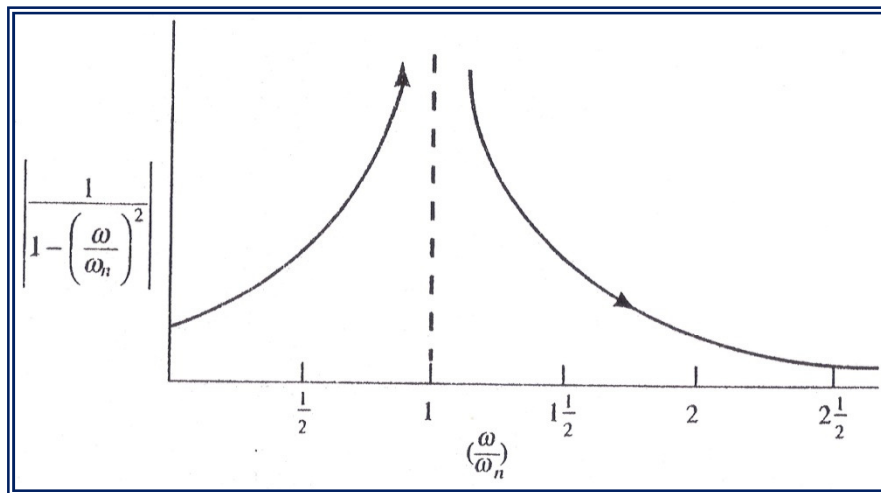


Figura 3. Variación de C en función de (ω/ω_n)

En la representación se observa la discontinuidad que sufre la amplitud cuando ω tiende a ω_n . Este aumento infinitamente grande de la amplitud cuando $\omega = \omega_n$ es, en sí mismo, el



fenómeno de la resonancia. Estas grandes amplitudes pueden ser peligrosas, debido a que con ellas aparecerán grandes concentraciones de fuerza en distintas partes del sistema recuperador, así como en el cuerpo en movimiento. Estos estados tensionales tan adversos pueden conducir a fallos desastrosos.

Para asegurarnos de que estos fallos debidos a amplitudes infinitamente grandes no se produzcan en nuestro Air-Box, realizaremos un test de frecuencia crítica, mediante la aplicación de una señal sinusoidal a distintas frecuencia. Mediante este ensayo se busca identificar la frecuencia propia del elemento, y con esto, poder asegurar que esta frecuencia no forma parte del rango de frecuencias correspondiente al funcionamiento normal del elemento.

5.3 Equipos utilizados

En este punto, se comenzará a tratar con mayor profundidad el ensayo que se ha realizado, así como los equipos utilizados^[16] para el mismo y las principales características de estos.

Para llevar a cabo este ensayo, es imprescindible una señal vibratoria de entrada. El generador de señales, de funciones o de formas de onda es un dispositivo electrónico de laboratorio que genera patrones de señales periódicas o no periódicas tanto analógicas como digitales. Se emplea normalmente en el diseño, test y reparación de dispositivos electrónicos; aunque también puede tener usos artísticos.

El generador tiene un uso muy amplio en el campo de la electrónica de la señal y presenta los valores de las señales en forma de coordenadas en una pantalla, en el eje X representa tiempos y el eje Y las tensiones, es decir, la amplitud de la señal. La principal función de los generadores es la de crear una señal a partir de los parámetros introducidos en el mismo. Además los generadores más modernos permiten la realización de barridos y ráfagas de señales entre otras opciones.

Hay diferentes tipos de generadores de señales según el propósito y aplicación; que se corresponderá con grandes diferencias de precio. Tradicionalmente los generadores de señales eran dispositivos estáticos apenas configurables, pero actualmente permiten la conexión y control desde un PC. Con lo que pueden ser controlados mediante software hecho a medida según la aplicación, aumentando la flexibilidad.

En este punto da comienzo el ensayo, mediante la creación de una onda sinusoidal en el generador de señales. En este caso se ha optado por un generador Agilent 33220A^[10]. En la tabla 1 se muestran algunas de sus características, centrándose en las que son de importancia para el ensayo realizado.

Generador de señales		
Formas de onda: Seno, cuadrado, triángulo, rampa, pulso, aleatoria		
Características de ondas sinusoidales		
Frecuencia:	Rango:	1 μ Hz – 20 MHz
	Precisión:	\pm (20 ppm + 3 pHz)
	Resolución:	1 μ Hz
Amplitud:	Rango:	10 mV _{pp} – 20 V _{pp}
	Precisión:	\pm 1% \pm 1 mV _{pp}
	Resolución:	4 dígitos
Monotonía de la amplitud:	<100 kHz:	0,1 dB
	100 kHz – 5 MHz:	0,15 dB
	5 MHz – 20 MHz:	0,3 dB
Distorsión armónica:		0,04%
Salida principal:	Impedancia:	50 Ω
	Aislamiento:	42 V _{pk} a tierra
	Protección:	Ante cortocircuito y sobrecarga
Características del barrido		
Forma de onda: Seno, cuadrado, rampa, aleatoria		
Tipo de barrido: Lineal o logarítmico		
Modo de inicio: Externo, interno, manual		

Tabla 1. Principales características del generador de señales



Figura 4. Generador de señales Agilent 33220A

La señal que se ha creado con el generador, se conduce hasta el amplificador. El amplificador electrónico es un equipo que realiza la función de incrementar la intensidad de corriente, la tensión o la potencia de la señal que se le aplica a su entrada, obteniéndose a su salida la señal aumentada. En este caso el amplificador toma potencia de una fuente de alimentación, y aumenta la potencia de la señal a su salida, manteniendo la forma de la señal, pero dotándola de mayor amplitud.

La relación entre la entrada y la salida del amplificador se denomina función de transferencia, e indica la ganancia de la amplitud. Es habitual mantener a un amplificador trabajando dentro de un determinado rango de frecuencias en el que se comporta de forma lineal, lo cual implica que su ganancia es constante para cualquier amplitud a su entrada.

Se ha optado por un amplificador de la compañía LDS Test and Measurement, en concreto se ha elegido el modelo PA100E^[11]. Este tipo de amplificador genera continuamente una importante cantidad de calor, por lo que es necesario acoplarle un ventilador en su parte posterior que evacue esta energía.



Figura 5. Amplificador de potencia PA100E

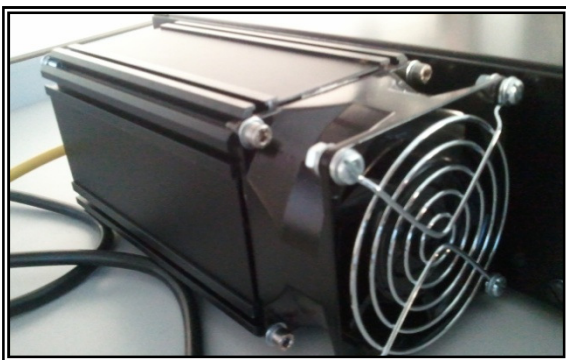


Figura 6. Ventilador del amplificador

Amplificador	
Potencia nominal de salida sinusoidal:	147 W
Carga resistiva paralela:	2,9 Ω
Rango de frecuencias a potencia nominal:	10 Hz -10 kHz
Tensión máxima de salida:	20 V _{rms}
Tensión máxima sin carga:	32 V _{rms}
Regulación del voltaje:	3%
Intensidad máxima de salida:	7 A _{rms}
Eficiencia:	58%
Protección:	Limitador de corriente de actuación rápida

Tabla 2. Principales características del amplificador.

A la salida del amplificador la señal está lista para dirigirse a la mesa de vibración. En este ensayo se utilizará el modelo V406/8^[11], la mesa de vibración pertenece a la compañía LDS

Test & Measurement. Este equipo electrodinámico ha sido diseñado para reproducir un ambiente con vibraciones bajo las condiciones de la calidad y fiabilidad de un laboratorio.

La utilización de este tipo de mesas de vibración está ampliamente extendida en la industria y son ideales para ser usadas en universidades y centros de investigación, principalmente para investigar el comportamiento dinámico de las estructuras y para realizar ensayos de componentes pequeños, livianos y ensamblajes.

El cuerpo del vibrador se puede montar en un marco opcional que permite el ajuste del eje de la vibración en un rango de ± 90 grados. Para otras aplicaciones, el generador de vibraciones puede ser rígidamente atornillado a una estructura adecuada utilizando los orificios roscados en la base del cuerpo de la máquina.

Además, será necesario ventilar en interior de la mesa vibratoria, por esto se conectará un ventilador-aspirador a la mesa con el que se conseguirá la refrigeración necesaria.



Figura 7. Mesa de vibración V406/8

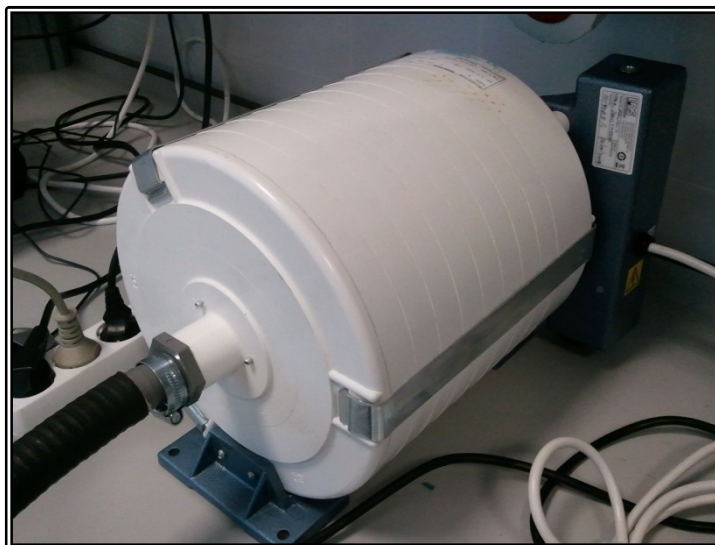


Figura 8. Ventilador-aspirador del V406/8

Mesa de vibración

Fuerza sinusoidal pico:	Refrigeración natural: 98 N
	Refrigeración forzada: 196 N
Fuerza eficaz aleatoria máxima:	38 N
Aceleración pico máxima:	Refrigeración natural: 490 m/s ²
	Refrigeración forzada: 980 m/s ²
Velocidad pico máxima:	1,78 m/s
Desplazamiento continuo:	17,6 mm pk
Masa del elemento en movimiento:	0,2 Kg
Rango de frecuencia útil:	5 - 9 000 Hz

Tabla 3. Principales características de la mesa de vibración

Una vez que la señal oscilatoria de entrada llega a la mesa de vibración, la mesa transforma esta onda en movimiento. Este movimiento sinusoidal es transmitido a la pieza sobre la cual se realiza el estudio, en nuestro caso, el Air-Box.

Para que este movimiento se transmita es necesario que el Air-Box esté perfectamente unido a nuestra mesa de vibración, por lo que será necesario el uso de un sistema de anclaje. Más adelante se especificarán con mayor detalle las características de estos utillajes, así como de la pieza estudiada.



Cuando la pieza se encuentra perfectamente situada e inmovilizada en nuestra mesa de vibración, es el momento de situar el acelerómetro en la posición donde se quiere conocer la respuesta del Air-Box a la vibración.

Los acelerómetros, o sensores de vibración, son como cualquier otro sensor una parte esencial de cualquier circuito de control. En este ensayo se recurrirá a un acelerómetro cerámico, el modelo 352C03^[13] de PCB Piezotronics. Este acelerómetro es de tipo cerámico y su funcionamiento está basado en la compresión de elementos piezocerámicos por una masa, la cual está sujeta a un muelle por su cara opuesta, todo dentro de un compartimento metálico. Cuando el sensor se ve sometido a vibración, el elemento piezocerámico se ve sometido a una fuerza de compresión variable, que es proporcional a la aceleración de la masa. Debido al efecto piezocerámico se desarrolla un potencial variable que es proporcional a la aceleración.

Acelerómetro	
Fuerza sinusoidal pico:	Refrigeración natural: 98 N
	Refrigeración forzada: 196 N
Sensibilidad:	1,02 mV/ (m/s ²) (\pm 10%)
Rango de medida:	\pm 4 900 m/s ² pk
Rango de frecuencias:	0,5 – 10 000 Hz (\pm 5%)
	0,3 – 15 000 Hz (\pm 10%)
No linealidad:	\leq 1%
Intensidad constante de excitación:	1 – 20 mA
Impedancia de salida:	\leq 100 Ω
Elemento sensor:	Cerámico
Material de la carcasa:	Titanio
Sellado:	Hermético
Conector eléctrico:	10-32 coaxial, hembra

Tabla 4. Principales características del acelerómetro



Figura 9. Acelerómetro 352C03

La señal creada por el acelerómetro tiene como destino la tarjeta de adquisición de datos, sin embargo, no irá allí directamente. La señal será dirigida antes hacia un acondicionador de señal, la principal función de éste será mejorar las características de la señal.

El acondicionador manipula la señal analógica de tal manera que a la salida de éste cumpla los requisitos necesarios para su procesamiento en la etapa siguiente. En nuestro caso la principal función del acondicionador será depurar la señal, para que pueda ser convenientemente adquirida por la tarjeta.

Para este ensayo se ha seleccionado un acondicionador de señal de PCB Piezoelectrics, al igual que con el acelerómetro, en concreto se ha elegido el modelo 482C05^[13], cuyas principales características se muestran en la tabla 5.

Acondicionador de señal	
Canales:	4
Ganancia de tensión:	1:1 ($\pm 1\%$)
Rango de salida:	$\pm 10\text{ V}$
Impedancia de salida:	50 Ω

Tabla 5. Principales características del acondicionador de señal



Figura 10. Acondicionador de señal 482C05

Como ya se ha indicado anteriormente, la adquisición de datos o adquisición de señales, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otros sistemas electrónicos (sistema digital). La principal función es tomar un conjunto de señales físicas en este caso las correspondientes al movimiento del acelerómetro, y convertirlas en tensiones eléctricas. Al digitalizarlas se consigue que puedan ser procesadas en el ordenador.

Concretamente, la tarjeta de adquisición de datos es la encargada de realizar la etapa de acondicionamiento. En esta etapa se pretende adecuar la señal a niveles compatibles con los equipos que realizaran el tratamiento de los datos. En este proyecto se ha optado por la utilización de una tarjeta USB-6251 Screw Term^[12] de National Instruments cuyas características más importantes se citan en la tabla 6.



Figura 11. Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6251 Screw Term

Tarjeta de adquisición de datos

Entrada analógica:	Canales:	16
	Resolución:	16 bits
	Frecuencia de muestreo:	1,25 MHz
	Rango de tensión máximo:	-10 V, 10 V
Salida analógica:	Rango de tensión mínimo:	-100 mV, 100 mV
	Canales:	2
	Resolución:	16 bits
	Frecuencia de actualización:	2,86 MS/s
E/S Digital:	Rango de tensión máximo:	-10 V, 10 V
	Rango de tensión mínimo:	-5 V, 5 V
	Canales bidireccionales:	24
	Máxima velocidad del reloj:	1 MHz
	Sincronización:	Hardware, Software
	Rango de E/S:	0 V, 5 V

Tabla 6. Características de la tarjeta de adquisición de datos

La tarjeta de adquisición de datos se conecta finalmente al ordenador. Gracias a esta conexión se consigue establecer la comunicación esperada, y los datos obtenidos por el acelerómetro llegan al ordenador. Sin embargo, para poder adquirir estos datos y trabajar con ellos es necesario un último paso. Con este fin se realizan distintos programas en MATLAB que nos permitirán concluir con éxito el ensayo objetivo de este proyecto. Sobre el funcionamiento de estos programas se profundizará más en el capítulo dedicado a la realización de ensayos.

5.4 Air-Box

Si nos fijamos en la evolución de los automóviles^[4], vemos que a lo largo de los años han sufrido modificaciones, estos cambios siempre han buscado la mejora del comportamiento de los vehículos y han conseguido aumentar en gran medida el rendimiento de los mismos.

Estas mejoras han tenido lugar en muchos y muy distintos ámbitos, principalmente en la utilización de materiales más ligeros y resistentes, así como en el desarrollo de nuevos carburantes, y la optimización del proceso de inyección de combustible, entre otros.



Como podía ser previsible, el sistema de admisión no ha sido ajeno a estos cambios, y también ha sufrido importantes modificaciones que han hecho mejorar el rendimiento del motor. Una importante revolución tuvo lugar con la creación de los conocidos turbos, mediante la utilización de turbinas, y su posterior mejora con la utilización del intercooler. Todos estos cambios han tenido como resultado que los sistemas de admisión hayan sido objeto de una notable evolución en los últimos años.

Como cabe esperar también las motocicletas han ido mejorando sus sistemas de admisión para aumentar el rendimiento del motor. Sin embargo, los sistemas de admisión en las motocicletas cuentan con un problema añadido, el tamaño. Las motocicletas no poseen el espacio suficiente como para instalar un sistema basado en una turbina, como se ha hecho en otros vehículos, por este motivo se ha optado por buscar soluciones más prácticas. Llegados a este punto es donde surge la idea del sistema de admisión dinámica o Ram-Air.

El Ram-Air, es un sistema de admisión que se vale de la presión dinámica del aire creada por el movimiento de la moto para conseguir un incremento de la presión estática en el interior del motor. Este aumento de la presión estática provoca que el flujo de masa que entra en el motor sea mayor, consiguiendo de esta manera incrementar la potencia del motor. Este resultado se podría equiparar al obtenido en otros automóviles con el uso del turbo.

Con el Ram-Air se consigue reducir la velocidad del fluido mediante un incremento de la sección transversal de los conductos de admisión, con esta disminución de la velocidad se consigue que la presión dinámica también lo haga, y por el contrario aumente la presión estática. El aumento de la presión estática en el Air-Box, tiene un efecto muy positivo en la potencia del motor, ya que junto con el incremento de la presión estática se produce un aumento de la densidad del aire.

Como ya se ha comentado, la tendencia a diseñar estos sistemas de admisión dinámicos es relativamente nueva. Sin embargo se ha demostrado su importante papel en el aumento del rendimiento, por lo que cada vez son más las marcas que invierten su tiempo y dinero en crear o mejorar los sistemas de admisión de sus motos.

En esencia, el Ram-Air funciona de manera similar que los motores sobrealimentados, pero a un menor nivel.

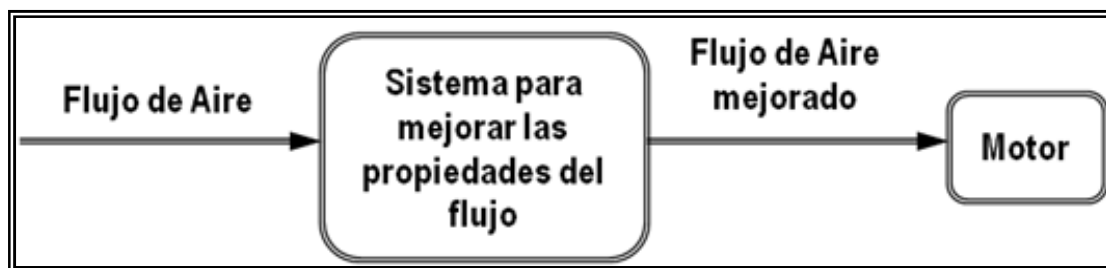


Figura 12. Esquema de funcionamiento de un motor sobrealimentado

Cuando una moto está en movimiento, produce el desplazamiento de un volumen de aire. Este aire desplazado tendrá mayor presión que el aire atmosférico, por lo que situando la toma de aire del carenado en un punto en el que el aire tenga mayor presión que el atmosférico, conseguiremos que el flujo de aire del Air-Box tenga una presión superior.

El resultado que obtenemos con esta operación es que el flujo de aire sea más denso y frío, por lo que su contenido en partículas de oxígeno es mayor. Con esto conseguimos que en los cilindros pueda entrar más combustible y en consecuencia que la potencia obtenida sea mayor.

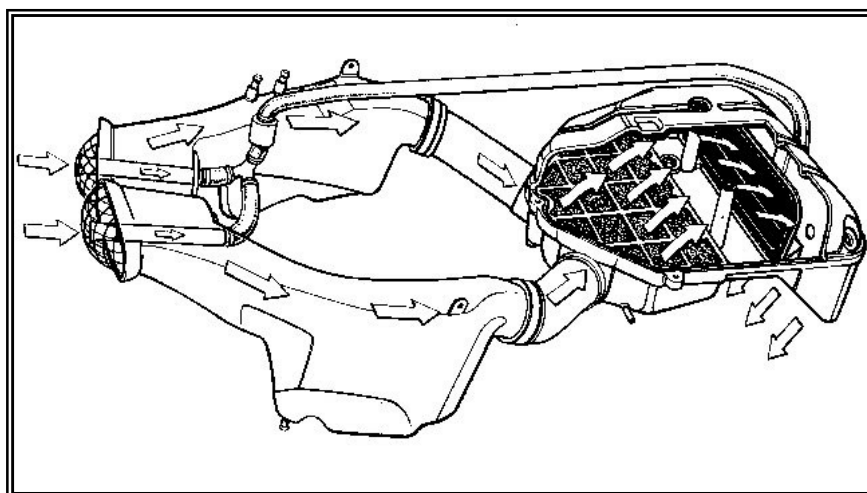


Figura 13. Esquema de funcionamiento de un Ram-Air

Para una mejor comprensión del funcionamiento del Ram-Air, se añade a este documento la figura 13. En este esquema se observa el camino recorrido por el flujo de aire a través de los conductos, hasta llegar al Air-Box donde se consigue aumentar la presión estática en detrimento de la presión dinámica, mejorando de este modo las condiciones del aire absorbido por el motor.

Con todo lo dicho anteriormente podemos tener una idea básica del funcionamiento del Ram-Air. En resumen, podríamos decir que es un sistema ideado para conseguir mejorar los flujos de aire que posteriormente serán absorbidos por el motor. La base teórica para conseguir estos flujos es transformar la presión dinámica del aire desplazado en el movimiento de la moto en un aumento de la presión estática.

Si analizamos el resumen realizado, podemos concluir fácilmente según el siguiente razonamiento. Para obtener mayor presión estática deberemos conseguir más presión dinámica y ésta aumentará cuando se incremente la velocidad con la que la moto atraviesa la masa de aire. Por todo esto se puede afirmar que el Ram-Air no tiene un rendimiento lineal, si no que a mayores velocidades, el rendimiento obtenido aumentara y el incremento de potencia entregado al motor será también mayor.

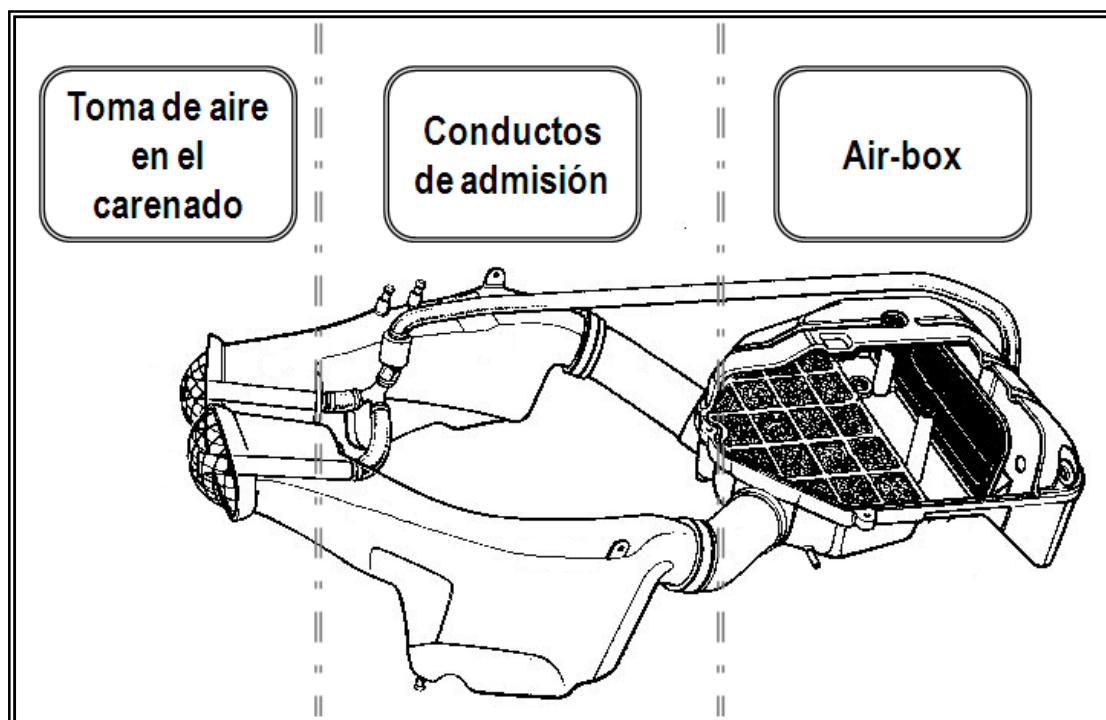


Figura 14. Esquema de partes del Ram-air

Una vez realizado el estudio del Ram-Air y expuesto su funcionamiento, se continuará dividiendo éste en sus distintas partes, las cuales se representan gráficamente en la figura 14. El Ram-Air está formado por:

Toma de aire en el carenado. Su principal función es la de captar el aire desde el punto más favorable del carenado.



Conductos de admisión. Son los encargados de hacer que el flujo de aire captado por la entrada del sistema de admisión en el carenado llegue al Air-Box, habiendo sufrido la mínima pérdida de carga posible.

Air-Box. Se trata de la parte más importante del sistema dinámico de admisión. Es la caja de la cual el motor adquiere el aire para su mezcla con el combustible y su posterior introducción en los cilindros.

Después de que el aire sea captado por la toma situada en el carenado, y conducido a través de los conductos de admisión hasta el Air-Box, este cumple su función principal, que no es otra que la de crear un remanso en la trayectoria del aire. A través de medidas constructivas y mecánicas, hay que intentar conseguir que la presión estática del interior del Air-Box aumente, mejorando así las condiciones del flujo másico que será absorbido por los cilindros.



6. ANTECEDENTES

Antes de comenzar el estudio sobre la respuesta a la vibración de nuestra Air-Box, realizaremos un análisis sobre los sistemas de admisión dinámicos. La introducción en la evolución que han sufrido estos sistemas, permitirá conocer los cambios que han sufrido estos, y por consiguiente los que han afectado a los Air-Box. Esto nos permitirá entender un poco más la importancia actual del Air-Box.

Sin embargo, comenzaremos este capítulo aportando algunos de los datos más importantes sobre la Moto2 de la cual forma parte nuestro Air-Box. Todo esto nos servirá para ubicarnos en el contexto de este proyecto con un mayor conocimiento del entorno en el cual se desarrolla.

6.1 *Moto2*

Como ya se ha comentado anteriormente, durante este proyecto se pretende estudiar la respuesta que presenta a la vibración el Air-Box de la Moto2 diseñada por la Universidad Carlos III de Madrid.

Moto2^[8] y ^[15] es la nueva categoría que ha sustituido a la conocida 250 cc en el Gran Premio de Motociclismo. La principal variación de esta nueva categoría con respecto a su predecesora es la sustitución de los motores de dos tiempos y cilindrada máxima de 250 cc, por otros de cuatro tiempos y hasta 600 cc.

La Moto2, a la que pertenece el Air-Box en el cual centramos este proyecto, ha sido desarrollada por el equipo Moto-MaqLab-Uc3m, que cuenta con José G. Pérez como Director Técnico de Motocicletas. Esta Moto2 se ha realizado bajo el encargo del HUNE Racing Team.

La construcción de la moto ha pasado por un largo proceso de análisis y síntesis mecánica. Los ingenieros del equipo Moto-MaqLab-Uc3m han modelado todos los componentes de la moto. Tras esto han ensamblado los componentes con programas informáticos y, teniendo como base el modelo virtual creado, han diseñado la parte del ciclo. Esta parte está constituida por el chasis y las suspensiones. Con todo esto han logrado su objetivo de conseguir un modelo virtual que sirviera de base para diseñar cada pieza y que permitiera probar su comportamiento mediante potentes simulaciones computacionales.



Figura 15. Moto2, de www.uc3m.com

Finalmente consiguieron superar el reto fundamental del proyecto encargado por HUNE Racing Team, conseguir un diseño óptimo que aunase ligereza y resistencia, y al mismo tiempo permitiera un buen comportamiento dinámico.

Una vez terminado el diseño y las pruebas mediante simulación, llegó el momento de la construcción y ensamblaje de todos los componentes. Y, finalmente, tuvieron lugar las primeras puestas a punto en pista. El prototipo se estrenó en la prueba del Circuito Ricardo Tormo de Cheste del Campeonato de España de la mano de Óscar Pena, que ejerció el papel de piloto. En

esta primera prueba el prototipo cumplió con creces las mejores expectativas, obteniéndose un comportamiento incluso mejor del esperado.

La motorización inicial de este proyecto fue la Yamaha R6-600 RR. El Air-Box es igualmente el original de Yamaha, aunque éste ha sido modificado para adaptarlo al entramado de tubos de acero que conforman parte del chasis de esta moto.



Figura 16. Moto2, de www.soymoto.net

Después de que Dorna estableciera el motor de la Honda CBR 600 RR como obligatorio por reglamento para el Mundial y el CEV, los ingenieros pasaron a trabajar en una segunda versión del prototipo, con la nueva monitorización establecida por el reglamento.

Las principales características técnicas de esta moto pasan por su motor de cuatro tiempos, sus cuatro cilindros en línea le dotan de 600 cc de cilindrada, y su culata, la cual consta de 16 válvulas con doble árbol de levas. El chasis de la Moto2 es multitubular, y está hecho en acero y aluminio. En las siguientes tablas se muestran estos y otros datos sobre la motociclética^[14] a la cual pertenece el Air-Box estudiado en este proyecto.



Motor	
Tipo:	4 tiempos
Cilindros:	4 en línea
Válvulas:	16, DOHC
Cilindrada:	599 cc
Diámetro x carrera:	67 mm x 42,5 mm
Relación de compresión:	12,2 : 1
Potencia máxima:	88,1 kW / 13 500 rpm
Par máximo:	6,73 kp·m / 11 250 rpm

Tabla 7. Características del motor

Dimensiones	
Largo:	2 010 mm
Ancho:	685 mm
Alto:	1 105 mm
Distancia entre ejes:	1 375 mm
Altura del asiento:	820 mm
Distancia libre al suelo:	135 mm

Tabla 8. Características dimensionales

Frenos	
Freno delantero:	2 discos - 310 mm
Freno trasero:	1 disco - 220 mm

Tabla 9. Características de los frenos

Neumáticos	
Delantero:	120/70-17
Trasero:	180/55-17

Tabla 10. Características de los neumáticos

Otros	
Capacidad de la batería: 12V / 8,6 Ah	
Potencia del alternador: 343 W	
Refrigeración:	Líquida
Chasis:	Multitubular
Material:	Acero-Aluminio
Capacidad del depósito: 18 litros, incluidos 3,5 litros de reserva	

Tabla 11. Otras características

6.2 Sistema dinámico de admisión

Como ya se ha anticipado, en este apartado se analizarán varios sistemas dinámicos de admisión, se busca conocerlos con algo más de profundidad, y para ello se comentará también su evolución a lo largo del tiempo. Además también se considerarán los distintos modos en los que las grandes marcas del sector del motociclismo han implementado diversos sistemas dinámicos de admisión^[4].

El principal esfuerzo que han llevado a cabo los fabricantes se ha orientado a conocer realmente la relación entre la velocidad de desplazamiento de la moto y la potencia ganada gracias al sistema Ram-Air.

Como ya se comentó al inicio, gran parte del desarrollo del diseño de estos sistemas dinámicos de admisión es empírico, es decir, mediante prueba y mejora del sistema. Para realizar esta tarea hay dos métodos fundamentales, el primero es conocido como el método del circuito, en él se utilizan sensores colocados convenientemente mediante los cuales se consigue analizar los efectos del Ram-Air. La segunda forma, y además la menos costosa se basa en adaptar un banco de potencia para poder medir dicho efecto.

Como es conocido por todos, un banco de potencia no es más que un instrumento de medida, que mediante unos sencillos cálculos, va a mostrar el par que las ruedas transmiten. Este par transmitido difiere del par que entrega el motor, debido a la existencia de pérdidas mecánicas. Sin embargo, en el estudio que se realiza en los bancos de potencia, no tiene importancia conocer la potencia exacta del motor, si no que la finalidad de las pruebas realizadas

es saber como de grande o pequeña es la diferencia entre la potencia entregada sin Ram-Air y la conseguida al utilizarlo.

Teniendo en cuenta todo lo expuesto hasta ahora, y recordando que el Ram-Air es un sistema de admisión que está basado en que la masa de aire se desplaza, por el movimiento de la moto a través de este fluido, sería necesario simular la corriente de aire como si la moto estuviese en movimiento.

Los técnicos de Kawasaki fueron pioneros en adaptar un banco de potencia para poder medir la mejora que experimentarían sus motores con la instalación del Ram-Air. Para ello idearon un sistema que estaba basado en un ventilador con capacidad de producir pequeños volúmenes de aire a gran presión. Este ventilador se conectaba con los conductos de admisión de la moto.

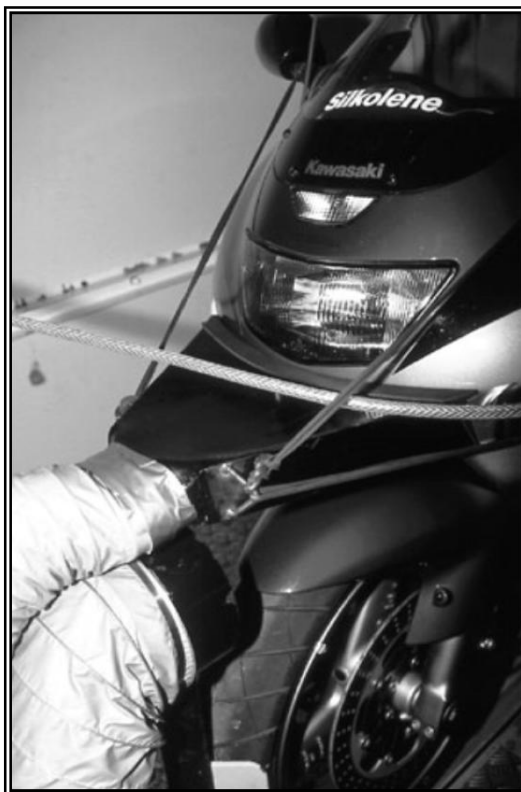


Figura 17. Banco de potencia adaptado para probar el Ram-Air estáticamente.

Gracias a esta conexión, fue posible realizar la medición de las presiones generadas en el Air-Box de la moto. Con el uso de un manómetro, se podían medir variaciones de presión de hasta 30 mb.

El primer paso necesario pasaba por medir la potencia que entregaba la Kawasaki ZX-9R sin el Ram-Air. Tras la realización de algunas pruebas se obtuvo una potencia de 123 CV. A continuación se hizo la conexión del sistema de ventilación y se realizaron pruebas a distintas presiones, aumentando en 10, 20 y 30 mb la presión en el Air-Box.

Los resultados de estos primeros test fueron gratificantes, se comprobó que el motor de la Kawasaki ZX-9R entregaba unos 2,6 CV más por cada 10 mb de incremento de presión. La potencia máxima entregada por la moto fue de 131 CV, es decir, se consiguió un aumento de 8 CV de potencia utilizando el Ram-Air respecto a la obtenida sin él. Hay que concretar que todas las pruebas se realizaron a máximas revoluciones.

Una vez demostrado que el rendimiento del motor aumentaba con la ayuda del Ram-Air, los técnicos se centraron en estudiar cuantitativamente la mejoría experimentada gracias a este sistema.

Anteriormente se ha expuesto como mediante ensayos y pruebas en el banco de potencia, se pudo comprobar que la moto, moviéndose a 240 km/h, generaba una presión en el Air-Box de 30 mb, consiguiéndose gracias a esto una ganancia de potencia de unos 8 CV a esa velocidad. Sin embargo, como se indicó con anterioridad, al aumentar la velocidad, se consigue incrementar también la ganancia. Mediante la realización de nuevos ensayos, se llegó a obtener un valor de presión en el Air-Box de unos 45 mb, lo que generaba un aumento de potencia de unos 12 CV, es decir, ésta alcanzaría los 135 CV.

A continuación se muestran dos gráficas resumen de los datos obtenidos en el banco de potencia de Kawasaki.

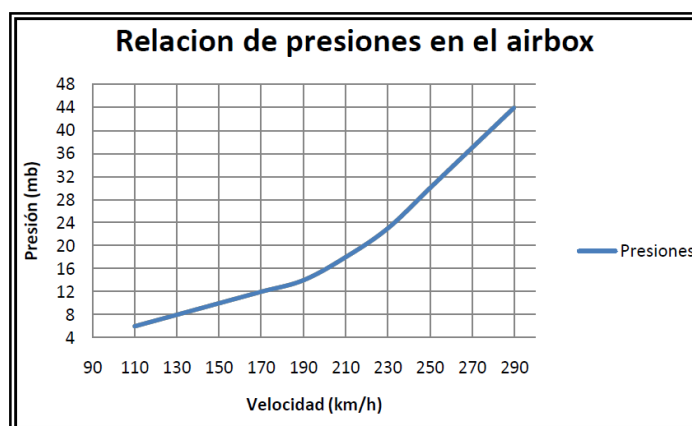


Figura 18. Presiones medidas en el Air-Box en relación con la velocidad

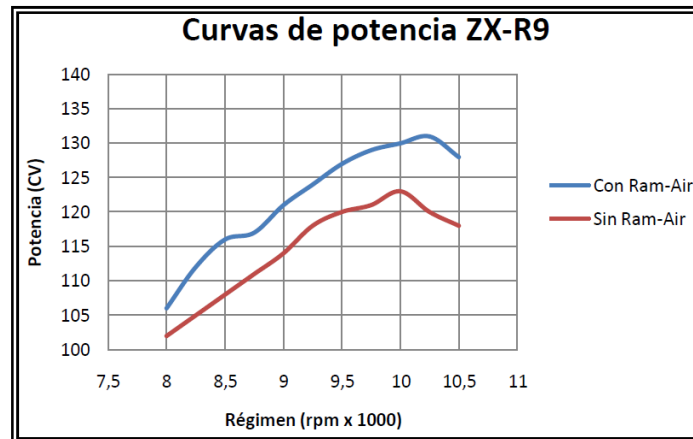


Figura 19. Comparativa del rendimiento de un motor con/sin Ram-Air

Como se puede ver, en la figura 19 queda totalmente demostrado que la utilización del Ram-Air tiene efectos muy positivos en la potencia del motor. Este es el principal motivo por el cual la mayoría de marcas no tardaron en diseñar y probar sus propios sistemas de admisión dinámica.

A continuación en las figuras 20-23 se presentan algunos ejemplos más de cómo afecta la aplicación del Ram-Air a algunas otras motos, concretamente a la Honda CBR-1100xx, la Kawasaki ZX-7R, la Suzuki GSX-1300 o la Yamaha Ycf-R6.

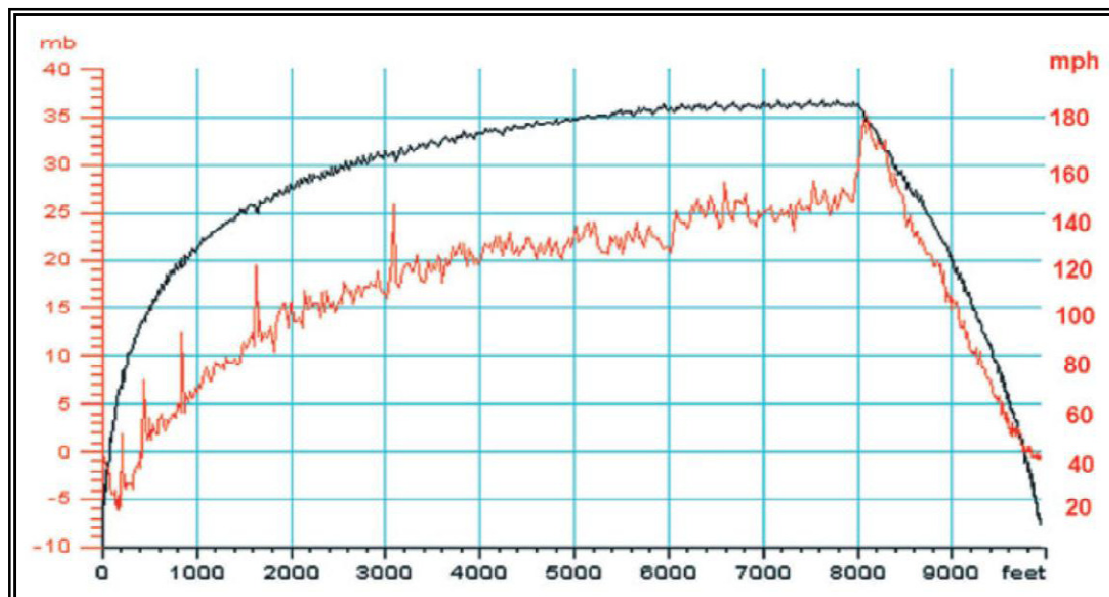


Figura 20. Relación entre velocidad y presión en el Air-Box de la Honda CBR-1100xx

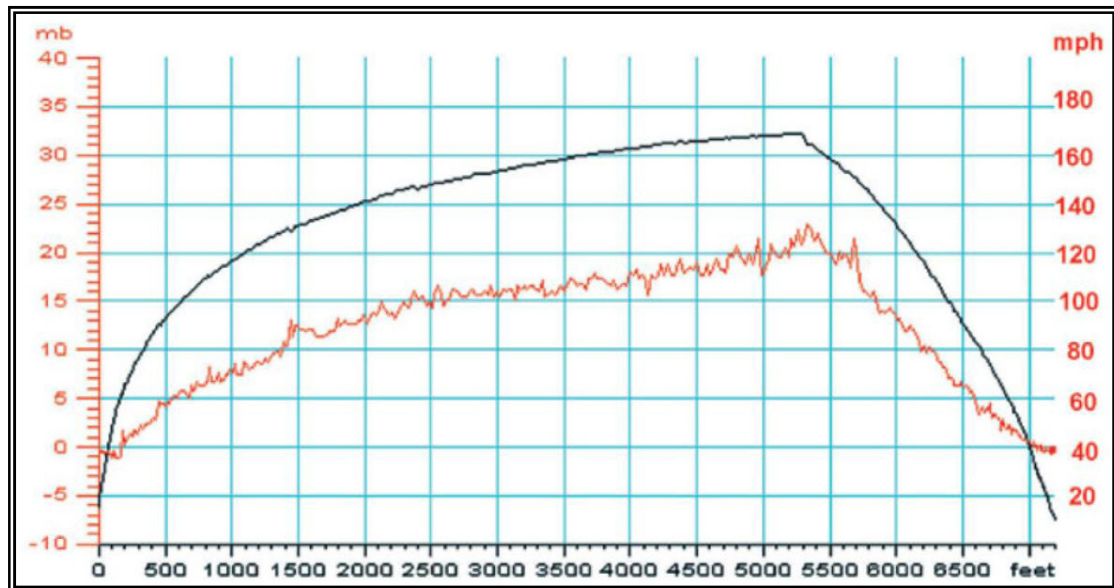


Figura 21. Relación entre velocidad y presión en el Air-Box de la Kawasaki ZX-7R

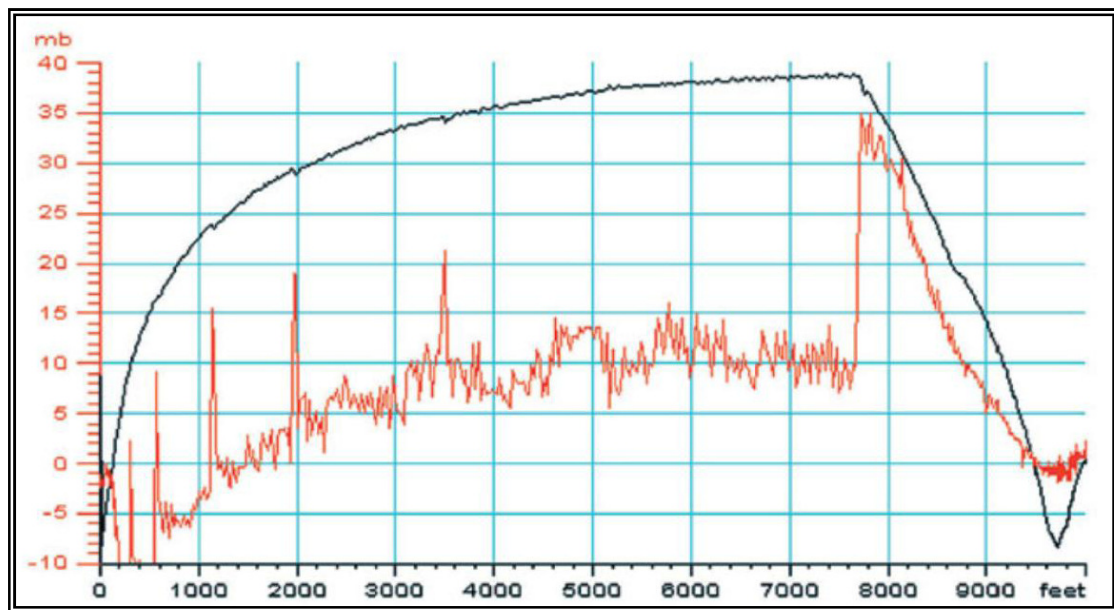


Figura 22. Relación entre velocidad y presión en el Air-Box de la Suzuki GSX-1300R

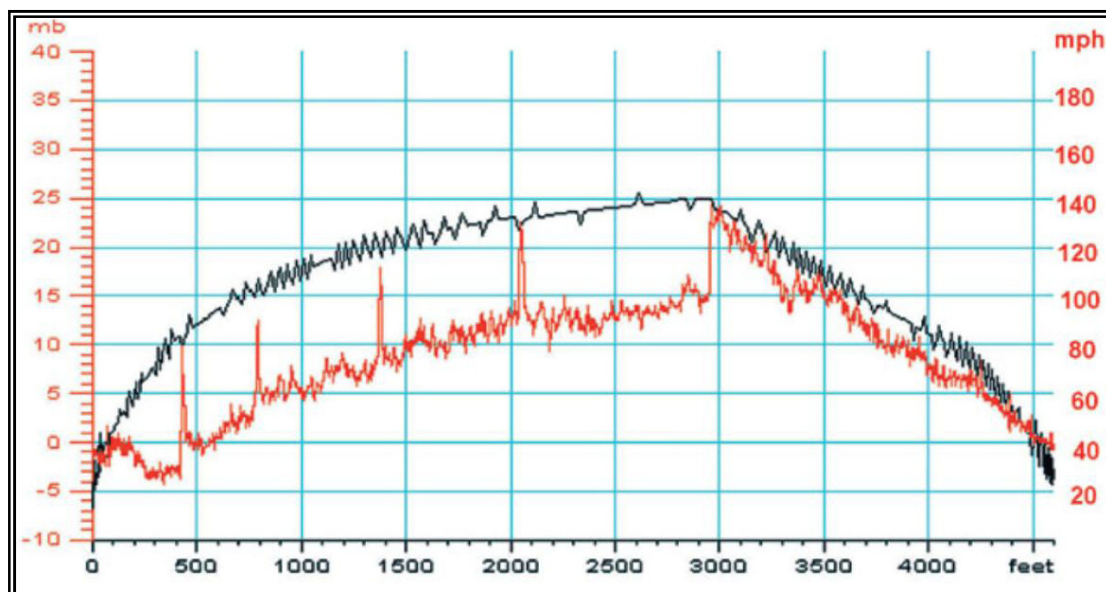


Figura 23. Relación entre velocidad y presión en el Air-Box de la Yamaha Ycf-R6

En las figuras anteriores se ve fácilmente el comportamiento del Ram-Air en los distintos modelos y las presiones que se consiguen en el Air-Box para las diferentes velocidades.

Se puede observar la velocidad de color azul oscuro, y los valores de la presión en rojo. Se puede ver también como en los cambios de marcha suelen producirse picos en la presión, esto quizás se deba a un aumento repentino en las revoluciones del motor, del mismo modo vemos que en ocasiones, la presión sufre una caída, ésta pérdida podría deberse al empuje que sufre el flujo de aire provocado por los pistones.



7. NORMATIVA

Como ya se expuso anteriormente, este proyecto tiene como objetivo la realización, de diferentes ensayos de vibración sobre el Air-Box de la Moto2. Gracias a los resultados obtenidos en estos ensayos se podrá asegurar un funcionamiento seguro del Air-Box bajo sus condiciones normales de actividad, más concretamente bajo el efecto de las vibraciones producidas por el movimiento de la Moto2.

Para poder realizar correctamente los ensayos será necesario que éstos se desarrollen bajo unas condiciones de funcionamiento particulares. Los factores que rigen los distintos ensayos están recogidos en diferentes y numerosas normativas. Estas normas pueden ser establecidas por organismos públicos, como ocurre con los reales decretos, o por entidades privadas dedicadas a este fin.

En el caso concreto de este proyecto, la normativa que lo rige ha sido desarrollada y difundida por la Comisión Electrotécnica Internacional. La CEI es una organización mundial de normalización, compuesta por la unión de los comités electrotécnicos nacionales. La Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)^[9] es el organismo español que forma parte de la CEI, convirtiéndose en representante de los intereses de los fabricantes y comerciantes españoles.

La CEI tiene por objeto favorecer la cooperación internacional para todas las cuestiones de normalización en el dominio de la electricidad y la electrónica. Para esto la CEI, entre otras actividades, publica normas internacionales sobre especificaciones técnicas, informes técnicos, especificaciones accesibles al público y guías.



La elaboración de estas normas está a cargo de los comités de estudios técnicos, y en estos trabajos puede participar cualquier comité nacional interesado en el tema tratado. Las organizaciones internacionales, gubernamentales y no gubernamentales, junto con la CEI, participan también en estos trabajos. La CEI colabora estrechamente con la Organización Internacional de Normalización (ISO), según las condiciones fijadas entre las dos organizaciones mediante distintos acuerdos.

El ensayo de vibración en el cual se centra este proyecto está regulado por la norma CEI 60068-2-6:2007^[5], última revisión de la norma sobre ensayos ambientales, más concretamente sobre los ensayos de frecuencia crítica de vibración, bajo la actuación de vibraciones sinusoidales.

7.1 CEI 60068-2-6

Esta parte de la norma CEI 60068 proporciona un método de ensayo aplicable a los componentes, materiales y otros artículos que puedan, durante su transporte o utilización, estar sometidos a vibraciones de naturaleza armónica generada principalmente por fuerzas rotativas, pulsatorias u oscilantes. Este tipo de esfuerzos existen en los vehículos terrestres, y puesto que el objeto que se estudia es el Air-Box perteneciente a una moto este ensayo es aplicable.

La norma consiste esencialmente en una especificación concreta de las acciones y especificaciones que se han de tener en cuenta al someter un espécimen, en este caso el Air-Box, a vibraciones sinusoidales en un rango de frecuencias o a frecuencias concretas, durante un tiempo específico. El estudio de la respuesta que ofrece la pieza a la vibración, puede utilizarse para determinar las frecuencias críticas de la misma.

La parte principal de esta norma trata sobre los métodos para pilotar el ensayo en puntos específicos, describiendo detalladamente el procedimiento del ensayo, adaptándolo a la pieza y a su utilización.

Esta norma marca las exigencias del movimiento vibratorio, la elección de las especificaciones, tales como el rango de frecuencias, la amplitud y la duración del ensayo. Estas características del ensayo se representan en función de una serie de parámetros racionales.



Mediante la correcta aplicación de esta norma se podrá determinar la fiabilidad mecánica y/o la degradación de las especificaciones de las piezas, y decidir si son o no aceptables para la tarea que han sido diseñadas.

7.1.1 Exigencias para el ensayo

En este apartado se expondrán las características requeridas a todos los aparatos del ensayo, incluyendo amplificadores de potencia, generadores de señal, medios de fijación, sistema de pilotaje y elemento ensayado.

El movimiento fundamental debe ser sinusoidal en el tiempo y los puntos de fijación del objeto ensayado deben desplazarse en fase y siguiendo direcciones rectilíneas y paralelas.

La tolerancia de la señal de aceleración únicamente debe realizarse si es prescrita en las especificaciones particulares del ensayo. En caso de ser necesaria debe ejecutarse en el punto de referencia (punto medio de los puntos de fijación), y la tolerancia no debe ser superior al 5% en ningún caso.

Por su parte la amplitud del movimiento fundamental en los puntos de verificación y referencia debe tener una tolerancia igual al valor específico dado en esta norma. Los valores de estas tolerancias se presentan en la tabla 12.

Tolerancias	
Punto de referencia:	$\pm 15\%$
Punto de verificación:	$\pm 25\%$ Si $f \leq 500$ Hz
	$\pm 50\%$ Si $f > 500$ Hz

Tabla 12. Tolerancias de la señal de pilotaje

También son de aplicación las tolerancias sobre la frecuencia contenidas en la tabla 13.

Tolerancias		
	Frecuencia fija:	$\pm 2\%$
Ensayo a frecuencia fija:		$\pm 0,05 \text{ Hz}$ Si $f \leq 0,25 \text{ Hz}$
		$\pm 20\%$ Si $0,25 < f \leq 5 \text{ Hz}$
	Frecuencia cuasi-fija	$\pm 1 \text{ Hz}$ Si $5 < f \leq 50 \text{ Hz}$
		$\pm 2\%$ Si $f > 50 \text{ Hz}$
		$\pm 0,05 \text{ Hz}$ Si $f \leq 0,5 \text{ Hz}$
Medida de la frecuencia crítica:		$\pm 10\%$ Si $0,5 < f \leq 5 \text{ Hz}$
		$\pm 0,5 \text{ Hz}$ Si $5 < f \leq 100 \text{ Hz}$
		$\pm 0,5\%$ Si $f > 100 \text{ Hz}$

Tabla 13. Tolerancias de la frecuencia

Si se decide realizar un barrido continuo del rango de frecuencias elegido, la frecuencia debe variar exponencialmente. La velocidad de barrido está fijada por norma en una octava por minuto permitiéndose una tolerancia de $\pm 10\%$. Sin embargo la norma permite modificar esta velocidad para la búsqueda y estudio de frecuencias críticas.

Las especificaciones particulares del ensayo deben indicar si el pilotaje ha de realizarse a partir de un punto o de varios. Si fuese necesario realizar más de un pilotaje hemos de utilizar técnicas como la media, la media aritmética o alguna técnica basada en el comportamiento de datos extremos para obtener un único valor de la amplitud del pilotaje.

7.1.2 Severidad

La severidad de la vibración está definida por la combinación de tres parámetros: el rango de frecuencias estudiado, la amplitud de la vibración y la duración del ensayo, en número de ciclos de barrido o tiempo.

Estos parámetros han de ser decididos previamente, y deben quedar indicados en las especificaciones particulares del ensayo. La elección de estos parámetros debe hacerse de acuerdo a las recomendaciones dadas por esta norma.

Se recomienda que el rango de frecuencias del ensayo quede limitado por los valores propuestos en la tabla 14 de este documento. Sin embargo, esto no es una exigencia, ya que la

norma permite el uso de otros extremos en el rango de frecuencias, si así es recomendado en los anexos A y/o C de la misma norma, o en caso de que nuevos valores se pudiesen deducir a partir de unas condiciones del ensayo concreto conocidas o de otras fuentes de información particulares sobre este tema.

Rango de frecuencias
Frecuencia inferior (f_1): 0,1; 1; 5; 10; 55; 100
Frecuencia superior (f_2): 10; 20; 35; 55; 100; 150; 200; 300; 500; 1 000; 2 000; 5 000

Tabla 14. Extremos posibles del rango de frecuencias.

Por lo que concierne a la amplitud de la frecuencia la norma no establece ningún parámetro obligatorio o recomendado, y permite decidir si la amplitud constante que se impone al ensayo es la perteneciente al desplazamiento, la velocidad o la aceleración.

Para la determinación de la duración del ensayo de resistencia, la especificación particular debe escoger el valor de entre los permitidos por la norma. Estos valores se encuentran recogidos en la tabla 15 y variarán dependiendo de que el ensayo se realice a frecuencias fijas o mediante un barrido continuo el espectro de frecuencias:

Duraciones
Ensayo de barrido: 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 ciclos.
Ensayo a frecuencias fijas: 10', 30', 90', 10 h $\left(\begin{smallmatrix} +5\% \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$

Tabla 15. Duraciones posibles para los ensayos

Ciertos parámetros visuales y dimensionales pertenecientes a la pieza sobre la cual se realiza el ensayo pueden ser medidos antes de realizar el ensayo y tras éste. Mediante la comparación de los valores de estos parámetros se podrá observar el efecto de las vibraciones sobre la pieza.

7.1.3 Ensayo

La búsqueda y el estudio de las frecuencias críticas debe ser efectuado durante un ciclo de barrido, sin embargo se puede disminuir la amplitud de la vibración por debajo del valor



especificado si, de esta forma, se puede obtener una determinación más precisa de las características de la respuesta.

Durante la búsqueda y el estudio de las frecuencias críticas, la pieza ensayada y los resultados de la respuesta producida en el ensayo deben ser examinados con el fin de determinar las frecuencias críticas. Estas frecuencias, al igual que las amplitudes aplicadas y el comportamiento de la pieza, deben ser especificadas en el informe del ensayo. Pero, debe ser la especificación particular la que precise las medidas que han de tomarse.

7.1.4 Otros apartados

En esta norma además de los apartados especialmente importantes indicados anteriormente, también se puede encontrar en otros de sus capítulos, datos relevantes para la realización del ensayo.

La norma ofrece un listado de los datos de partida que deben estar incluidos en la especificación particular de cualquier ensayo. Sin embargo de las características del ensayo listadas en la norma sólo algunas deben ser dadas obligatoriamente, la mayoría deben proporcionarse en la medida en que son aplicables a cada ensayo.

Así mismo la norma, en otro de sus capítulos, nos ofrece un listado de la mínima información que debe proporcionar el informe del ensayo realizado. Todos estos datos se reflejarán en los próximos capítulos de este proyecto.

En esta norma también podemos encontrar, a título informativo, diferentes anexos muy útiles todos ellos para una correcta realización de los ensayos de vibración y de sus respectivos informes.

El anexo A contiene una completa guía para el ensayo de frecuencias propias. Esta guía se seguirá en la medida de lo posible tanto en el ensayo como en el informe del mismo, con el fin de que ambos se realicen lo más fielmente posible a lo marcado en esta norma.

Así mismo, en los anexos B y C de esta norma se adjuntan algunas tablas con sugerencias sobre los valores de las severidades para distintos métodos y condiciones de funcionamiento, lo cual permite elegir las severidades adecuadas para la realización del ensayo objeto de este proyecto.



Además se incluirán en los anexo IV y V de este proyecto, la especificación particular que proporcione los valores de partida para la realización de este ensayo, y el informe final que contiene los resultados del ensayo realizado.



8. PREPARACIÓN DEL ENSAYO

En este capítulo del proyecto se tratarán los distintos aspectos que han regido la realización del ensayo. Con esta exposición, se conseguirá reflejar con total claridad los pasos llevados a cabo durante el ensayo en el laboratorio. Además, se expondrán las diferentes decisiones tomadas durante la realización del mismo, en lo referente a las características del ensayo, junto con los motivos que dan lugar a esas elecciones.

También se plantearán los distintos problemas que han ido surgiendo en la preparación y realización de este proyecto y a los cuales ha sido necesario enfrentarse. Así como las soluciones que se ha decidido adoptar teniendo como finalidad la superación de estas cuestiones.

Hemos de comenzar aclarando que el ensayo realizado y el resultado obtenido no se corresponden con los posibles resultados obtenidos teóricamente, ya que son numerosos los factores prácticos que no se contemplan en el estudio del problema teórico o que son despreciados por no considerarse importante su impacto en el mismo.

Si bien este ensayo intenta ser un reflejo lo más claro posible de la realidad, no consigue ser totalmente realista. La desviación más obvia se debe a que mediante observación directa es casi imposible apreciar el comportamiento en presencia de las vibraciones.

Debido a esta imposibilidad se recurre al uso de captadores de vibración o acelerómetros, y el uso de estos aparatos modifica sin lugar a duda la distribución de masas de la pieza estudiada. Esta variación en la distribución de masas es aun más significativa en piezas que como nuestro Air-Box no poseen una masa suficiente como para hacer despreciable el efecto de la masa del acelerómetro y por tanto el cambio en la distribución de esta es más significativo que en otros ensayos.

8.1 *Utillaje*

Puesto que nuestro Air-Box debe sujetarse a la mesa de vibración y el diseño de éste no está realizado con tal finalidad será necesario el diseño y fabricación de un utillaje capaz de solventar esta situación. Por este motivo, con anterioridad a la realización del ensayo debe realizarse un estudio sobre las posibilidades de fijación de la pieza a la mesa de vibración disponible para el ensayo.

En primer lugar se deben estudiar las posibilidades que ofrecen tanto la mesa de vibración como nuestro Air-Box con el fin de encontrar una fijación viable, segura y adecuada a nuestro fin.

En lo referente a la mesa de vibración, tras un estudio visual y de los planos de la misma se observa que el anclaje a la mesa debería realizarse en la parte superior de la misma. Más concretamente, en los 6 agujeros situados en la parte vibradora. La distribución de estos es uniforme a lo largo de una circunferencia de diámetro 25 mm, y para llevar a cabo la fijación serán necesarios 6 tornillos. Estos tornillos serán del tipo M 4, roscado correspondiente al de los agujeros de la mesa de vibración.

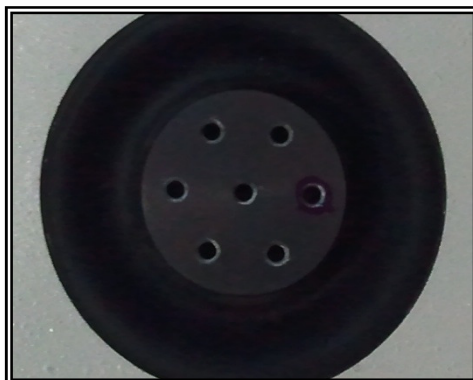


Figura 24. Zona de sujeción de la mesa de vibración.

Si se centra ahora el estudio de la fijación en el Air-Box, rápidamente se observa la existencia de 3 taladros pasantes en el exterior de la base del mismo. Estos taladros tienen un diámetro de 4,8 mm y se consideran como un método factible y fiable de fijación.

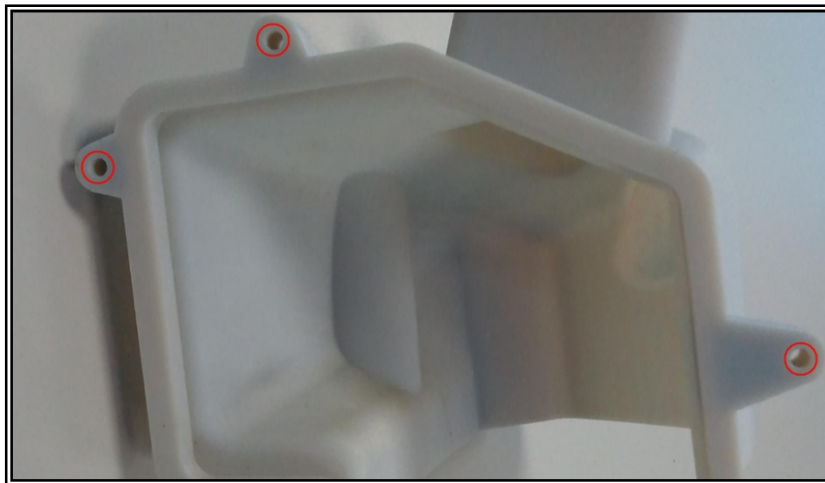


Figura 25. Taladros para la fijación de la pieza.

Tras este estudio se plantea como utillaje necesario para la fijación del Air-Box a la mesa de vibración una chapa metálica. Se considera realizar a la chapa los taladros necesarios para fijarla tanto a la mesa de vibración como a la pieza a ensayar.

Inicialmente se piensa en utilizar una chapa rectangular acero galvanizado de 0,7 mm de espesor, existente en el laboratorio como resto de otros trabajos, para mecanizarla de acuerdo con las necesidades de este ensayo.

Mediante el uso de una cizalladora se confiere a la chapa de sus dimensiones iniciales, 210 x 170 mm², además se realizan en su interior y en las posiciones adecuadas los taladros necesarios para la fijación. En concreto se comienza realizando 3 taladros de 5 mm que contribuirán a la fijación de la chapa a la pieza, y se continúa taladrando 6 orificios más, del mismo diámetro, que ayudaran en la unión de la placa a la mesa de vibración.

En la figura 26 se muestra un diseño de la placa resultante.

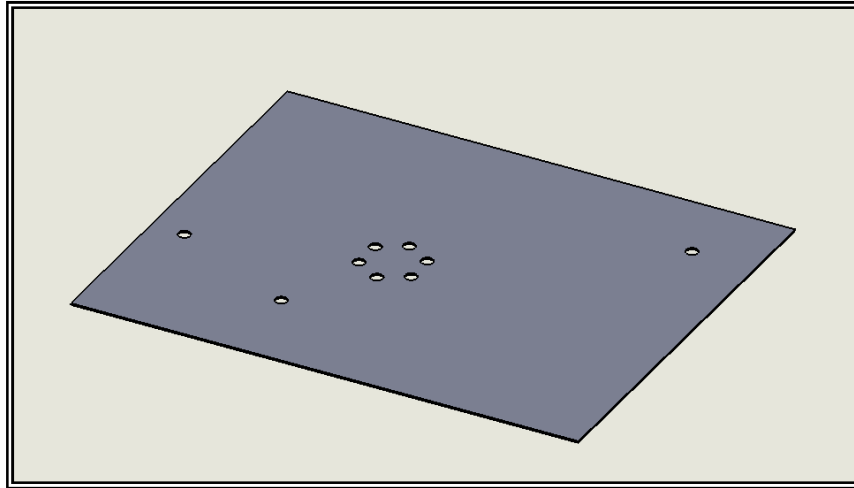


Figura 26. Placa de fijación

Sin embargo, únicamente es necesario coger la chapa resultante o calcular la masa de ésta para observar que es superior a la soportada por nuestra mesa de vibración.

$$m = \rho \cdot V = \frac{7,85 \text{ kg}}{\text{dm}^3} \cdot (2,1 \cdot 1,7 \cdot 0,007) \text{ dm}^3 = 0,2 \text{ kg} \quad \text{Ec. 12}$$

Tras realizar este sencillo y aproximado cálculo, podemos afirmar que la masa de la chapa corresponde aproximadamente con la máxima soportada por la mesa de vibración. Este motivo obliga a replantear la solución escogida para fijación de la pieza, ya que la masa del conjunto pieza-utilaje supera los límites del equipo.

En la búsqueda de nuevas alternativas para la sujeción, aparecen dos posibilidades principales, el uso de otro tipo de chapa cuyas características sean más acertadas para nuestro ensayo o la disminución de las dimensiones de nuestra actual placa de unión.

Para el uso de otra chapa, sería necesario que el peso de ésta fuese menor, no pudiendo sobrepasar el conjunto utilaje-pieza los 200 g. Además el nuevo material debería ofrecer la rigidez suficiente para transmitir correctamente las vibraciones en el rango de frecuencias del ensayo.

Estudiando la segunda opción, observamos que gran parte de la chapa no tiene ninguna función útil para el ensayo. Se percibe que los orificios para la fijación a la mesa de vibración se encuentran localizados aproximadamente en el interior del triángulo cuyos vértices corresponden a los taladros de unión de la pieza a la chapa. Por tanto, se puede pensar que todos los puntos de la placa situados fuera de este triángulo y a una distancia prudencial del mismo no tienen

ninguna función mecánica, al no ser necesarios para la transmisión de la vibración y por tanto no estar sometidos a las tensiones derivadas de esta, ni a las debidas a la fijación de la placa a la pieza o la mesa de vibración.

Tras el estudio de ambas posibilidades, finalmente se decide realizar la segunda de las opciones, por lo cual, será necesario un nuevo mecanizado de la chapa, éste debe proporcionar la disminución de masa necesaria, al mismo tiempo que asegure el comportamiento esperado del utillaje.

Con este fin se realiza un rediseño de la placa inicial, quedando como resultado una geometría irregular semejante a la representada en la figura 27.

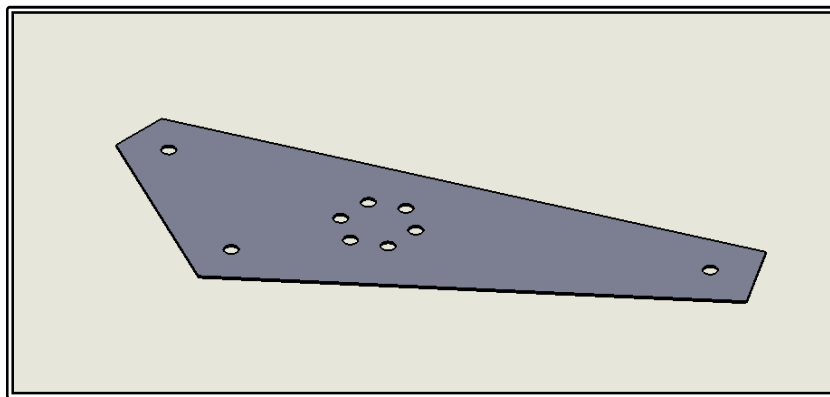


Figura 27. Placa de fijación

Puesto que se ha disminuido el volumen de la chapa también lo habrá hecho su masa. Para poder aceptar este nuevo diseño se decide pesar el Air-Box y la chapa para comprobar que se cumplen las restricciones impuestas, obteniendo

$$\left. \begin{array}{l} m_{chapa} = 62 \text{ g} \\ m_{Air-Box} = 89 \text{ g} \end{array} \right\} m_{total} = 151 \text{ g} \quad \text{Ec. 13}$$

Como se observa en el resultado, la masa de la nueva placa es inferior al límite máximo impuesto por el equipo de vibración. Por este motivo se decide aceptar este nuevo diseño como válido y será el utilizado para la fijación del Air-Box a la mesa de vibración.

8.2 Conexión entre equipos

En capítulos anteriores de este proyecto, se hizo una introducción a los equipos utilizados en el ensayo para el cálculo de la frecuencia crítica. En ese momento el proyecto se

centro en ofrecer unos datos básicos sobre su función, la cual condiciona las comunicaciones entre los distintos equipos, también se citaron algunas de sus características más importantes para el uso que de ellos se va a hacer en esta prueba. Sin embargo, en este punto del proyecto se busca dar un paso más, reflejando claramente la función concreta de cada uno de los equipos, las conexiones que se establecen entre ellos y el recorrido que realizan las señales transmitidas, así como las transformaciones que sufren. De este modo se busca aportar una visión general del ensayo realizado.

En la figura 28 se recoge un diagrama de bloques que muestra a modo de esquema las conexiones entre los distintos equipos utilizados para el ensayo, en color claro se representan las conexiones de la señal de entrada, mientras que en oscuro se muestra el recorrido de la respuesta dada por el Air-Box a la vibración a la cual se le somete. Basándose en este diagrama se pasará a comentar las conexiones existentes, los tipos de datos que se transmiten por ellas y los cambios que sufren éstos a lo largo de todo el recorrido.

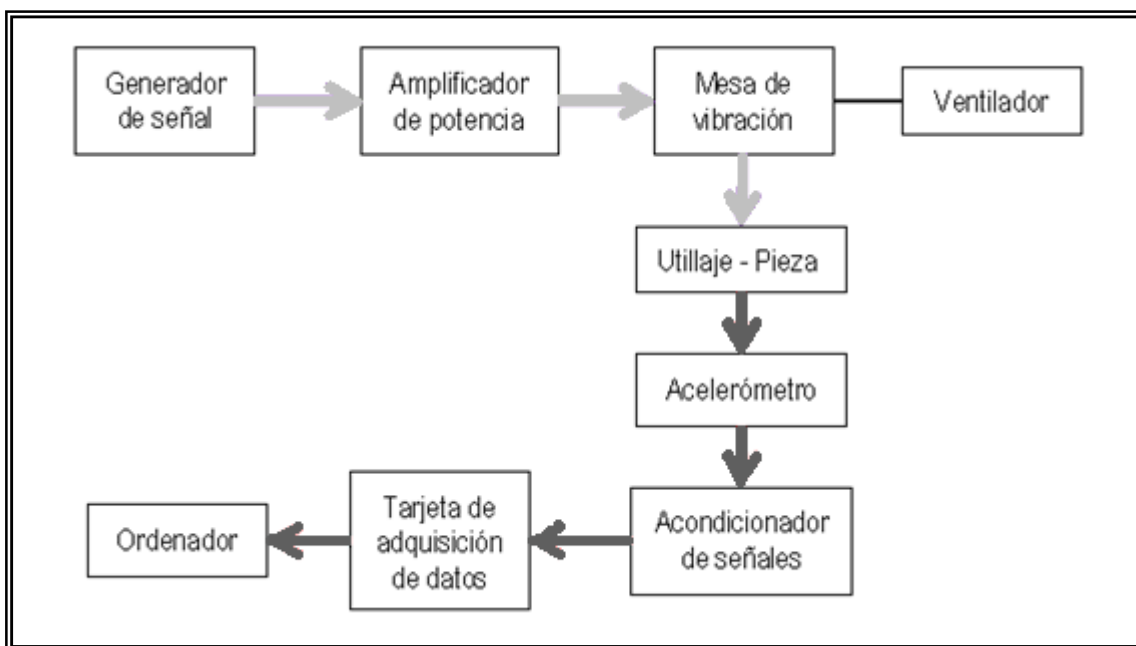


Figura 28. Diagrama de bloques de los equipos del ensayo

El ensayo de frecuencia crítica comienza en el generador de señales, en el se crean las oscilaciones deseadas de forma sencilla, basta con introducir los parámetros de la señal deseada, tales como: forma, frecuencia, amplitud... además el generador utilizado en el ensayo ofrece la posibilidad de realizar algunas operaciones más complejas, tales como barridos, pulsos o modulaciones de la señal. Aunque no se considera el uso de estas funciones en el ensayo.

Una vez escogidos los parámetros que definen la señal vibratoria, ésta será conducida al amplificador de potencia mediante un cable triaxial proporcionado por el fabricante. Un conector triaxial se utilizará para el acoplamiento al amplificador, mientras que la comunicación con el generador se realiza mediante un conector BCN.



Figura 29. Conector BCN (izquierda) y triaxial (derecha)

Al llegar al amplificador, la potencia de la señal se ve modificada en función de la ganancia escogida para el ensayo. Tras los cambios realizados en la señal original, la nueva vibración está lista para ser conducida a la mesa de vibración, esta transmisión se realiza mediante un cable de dos pines del tipo 2 x 2,5 que se conectará a la salida del amplificador y a la toma para la señal de la vibración de entrada.

La función de la mesa de vibración será la de transformar la señal eléctrica recibida en movimiento. Concretamente, se producirá el desplazamiento de la plataforma móvil situada en el centro de la parte superior de la mesa de vibración. Además el movimiento de esta plataforma se realizará a la frecuencia introducida en el generador de señales y con una amplitud proporcional a la correspondiente a la señal osciladora de entrada.

La mesa está sometida a movimientos internos de gran velocidad y aceleración debido al desplazamiento de la plataforma de vibración, esto produce importantes rozamientos y por tanto hace que se genere una gran cantidad de calor. Para evitar que las temperaturas en el interior de la máquina aumenten y alcancen valores peligrosos que conlleven fallos y roturas en el equipo, este se conecta a un ventilador, recomendado por el fabricante y que asegura la refrigeración de la mesa.

La plataforma móvil transmitirá el movimiento a la placa metálica diseñada como utillaje. Como se dijo en el apartado anterior la fijación se realizará mediante seis tornillos M 4, sin embargo los taladros realizados en la placa son de mayor diámetro y por tanto no aseguran la

ausencia de movimiento. Por este motivo se situará sobre la placa la pieza de la figura 30, haciendo coincidir los taladros de esta pieza, con los de la placa y los roscados en la plataforma móvil de la mesa de vibración y fijándose todo fuertemente mediante los tornillos anteriormente citados.

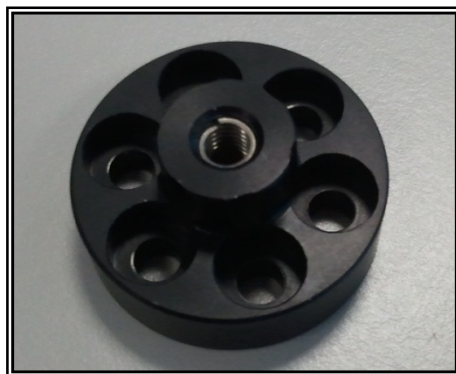


Figura 30. Sujeción

Mediante la inserción de este nuevo utillaje, conseguimos además asegurar la fijación debido a que distribuye la presión ejercida por las cabezas de los tornillos, en toda su área de contacto con la placa de sujeción.



Figura 31. Fijación chapa-mesa de vibración

Finalmente la fijación del utillaje quedaría según la figura 31. Fijar el Air-Box al utillaje constituye el siguiente paso. Esta sujeción es más sencilla, basta con unir ambos elementos mediante tres tornillos M 4, con sus correspondientes tuercas. Además se utilizarán tuercas autoblocantes, de esta forma se conseguirá evitar que las tuercas se suelten debido a las oscilaciones y el movimiento de la mesa de vibración no se transmita correctamente a la pieza ensayada.



Todas las conexiones expuestas hasta ahora tienen una finalidad común dentro de este proyecto, conseguir la vibración de la pieza de acuerdo a los parámetros definidos para el ensayo. Sin embargo, la función de los equipos y conexiones restantes es muy distinta. Una vez conseguido el movimiento, el resto de equipos tendrán como objetivo medir el comportamiento de la pieza bajo distintas frecuencias.

El siguiente acoplamiento necesario será el del acelerómetro, éste es el encargado de convertir el movimiento de la pieza en una señal eléctrica. Para instalar el acelerómetro correctamente se recurre a la guía de operación^[7] que PCB Piezotronics pone a disposición de sus clientes para este fin.

En esta guía se ofrecen distintos métodos de montaje, exponiéndose las ventajas y desventajas de cada técnica. Algunas de las características críticas, que serán pues muy influyentes en la elección del método de montaje del acelerómetro son la rugosidad, accesibilidad, rango de frecuencias...

La guía nos ofrece como principales alternativas las siguientes:

Montaje con tachuela. Esta técnica requiere una superficie plana y sin rugosidad y es recomendada para instalaciones permanentes y/o seguras. Tras lijar y pulir la superficie de donde se debe instalar el acelerómetro, será necesario realizar un taladro y lubricar la superficie con una fina capa de aceite. En el orificio realizado se atornillara la tachuela y sobre esta se fijara el acelerómetro.

Montaje adhesivo. Es el método más utilizado para instalaciones temporales. Adhesivos como la cera poseen un buen comportamiento para instalaciones temporales, mientras que para instalaciones más permanentes se aconseja utilizar pegamentos. Además ofrece la alternativa de utilizar la base de montaje o no hacerlo.

Para este tipo de montaje también será necesario preparar la superficie, eliminando las rugosidades existentes. Tras esto se pondrá una pequeña cantidad de adhesivo en la cara inferior de la base del montaje o el acelerómetro y se aplicará presión en el lugar donde se desee instalar.

Montaje magnético. Es muy utilizado para hacer medidas rápidas y cambiantes y comúnmente se utiliza en maquinaria a fin de monitorizar las lecturas y poder realizar mantenimientos predictivos.

Hemos de preparar una superficie lisa y elegir el tipo de imán correcto y tras esto realizar el montaje.

Montaje con punta de sonda. Este montaje no está recomendado para la mayoría de aplicaciones. La exactitud y repetitibilidad no están aseguradas a bajas frecuencias, mientras que su comportamiento a frecuencias superiores a 1 kHz es muy cuestionable. Está especialmente recomendado para monitorización de datos, cuando el espacio está muy restringido o en aplicaciones portátiles. Sin embargo, técnicamente puede ser de gran utilidad para determinar las localizaciones de las mayores vibraciones y establecer los puntos para una instalación permanente.

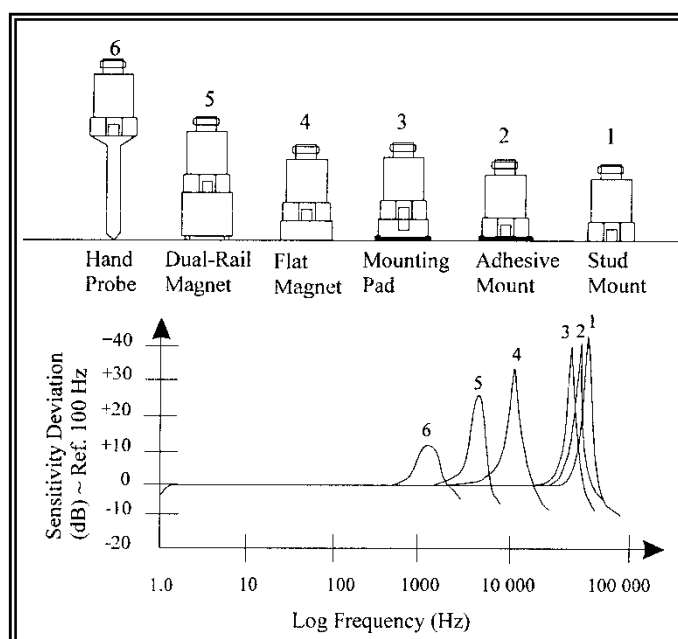


Figura 32. Comportamiento de los montajes respecto a la frecuencia

Después de estudiar con detenimiento la guía se ha optado por un montaje adhesivo. Debido a que el rango de frecuencias del proyecto podría alcanzar los 5 kHz, se desaconseja un montaje con sonda, así como el montaje magnético. Además la instalación no será permanente, ya que la toma de medidas se llevará a cabo tanto en la pieza como en la chapa de unión a la mesa de vibración. Por estos motivos se decide utilizar el montaje adhesivo.

Antes del montaje se eliminará, mediante varias lijas, la rugosidad de los lugares donde se llevará a cabo el posicionamiento del acelerómetro, tanto en la superficie de la pieza como en la de la chapa.



Como adhesivo PCB Piezotronics adjunta con el acelerómetro dos tipos diferentes. El pegamento Loctite 454 recomendado para montajes de larga duración y el cual es posible eliminar con acetona, y una cera que será necesario calentar y que al solidificarse proporcionará la adhesión necesaria.

Finalmente, se decide utilizar la cera como adhesivo al permitir desmontar y volver a montar el acelerómetro sobre otro lugar con gran facilidad. Como se cuenta con la plataforma de montaje del acelerómetro se decide utilizarla, por lo que será bajo esta plataforma donde se sitúe la cantidad de cera caliente necesaria y se ejerza presión para fijarla correctamente al punto de medida. Cuando la cera endurezca se atornillará el acelerómetro a la base y el montaje habrá terminado.

Puesto que el acelerómetro se ha fijado al punto a estudiar, vibrará conjuntamente con el punto de la pieza ensayada o el utillaje que se busque estudiar. El equipo generará al moverse una señal eléctrica que representa la vibración a la cual se ve sometido.

La señal es enviada por medio del cable coaxial conectado al acelerómetro hacia el acondicionador de señal, al cual se acopla a través de un conector BNC.

Cuando la señal ya ha sido tratada en el acondicionador, es enviada por el conector de salida del tipo BNC, y mediante un cable coaxial se conduce hasta la tarjeta de adquisición de datos, a la cual se conectan los dos pines del cable coaxial en los canales 1 y 3, indicados por la guía del aparato para conseguir una adquisición de datos en modo referenciado de conexión simple (RSE).

Una vez adquiridos los datos, la tarjeta los envía a través de un cable USB hasta el ordenador. En el cual se operará con ellos buscando obtener los datos necesarios.

National Instruments proporciona un programa orientado a la adquisición de datos, sin embargo se ha decidido no utilizar este programa. La adquisición de datos se realiza mediante MATLAB^[6], un lenguaje de alto nivel y entorno interactivo que le permite realizar tareas computacionalmente intensivas a gran velocidad. A lo largo del proyecto se realizan diferentes programas en MATLAB con el fin de adquirir los datos y tratarlos de forma que los resultados obtenidos den respuesta a las necesidades de este proyecto.

En cada prueba y ensayo realizados a lo largo del proyecto se refleja claramente el programa utilizado, así como las características escogidas para la realización de los mismos y



los resultados obtenidos. Todos los programas realizados para este proyecto y utilizados en el mismo se adjuntan en el anexo I.



9. REALIZACIÓN DEL ENSAYO Y RESULTADOS

Una vez se ha llevado a cabo la instalación de todos los equipos requeridos, y se han realizado todas las conexiones necesarias para la transmisión de la señal, según la descripción dada en el capítulo anterior, todo está preparado para que el ensayo comience.

Tras el encendido de los equipos, es necesaria la programación de los mismos, es decir, se deberán introducir los datos y características elegidas para la realización de las pruebas. Éste será uno de los objetivos de este capítulo, exponer las características de cada ensayo, los resultados obtenidos, así como aquello que de éstos se deriva, junto con los cambios que conlleva en los siguientes ensayos realizados: modificaciones de rangos de frecuencia, cambios en la amplitud de onda, modificaciones en los programas de adquisición de datos, cambios en la velocidad de muestreo...

Buscando una fácil comprensión del desarrollo de este proyecto e intentando conseguir una clara estructuración de los distintos ensayos, se dividirá este capítulo en distintos apartados, cada uno de los cuales se dedicará a una de las pruebas realizadas.

Cada apartado contendrá toda la información sobre el ensayo realizado, características de la onda excitadora, elecciones de la adquisición de datos y errores obtenidos así como posibilidades de mejora para el siguiente ensayo.



9.1 Ensayo I

Se decide realizar este primer ensayo teniendo únicamente como finalidad una primera toma de contacto con los equipos necesarios. Además se cree que con los datos obtenidos se podrá decidir si las características elegidas para la programación de los aparatos son las correctas o conllevan un mal funcionamiento de éstos, lo cual se solucionaría probando nuevos valores para futuras pruebas.

Las características elegidas para la realización de este ensayo están recogidas en la tabla 16. Algunas de estas variables, como la duración de cada toma de datos, no forman parte de las pautas marcadas por la CEI 60068-2-6, que únicamente marca la duración de los ensayos de resistencia y no de los de búsqueda de frecuencia crítica. Puesto que este primer ensayo se considera más una prueba de funcionamiento, sus resultados no se tendrán en cuenta para la definición de la frecuencia crítica.

Generador de señales	
Tipo de onda:	Seno
Amplitud de la onda:	$2 V_{pp}$
Tipo de ensayo:	Frecuencias discretas
Frecuencias:	10; 20; 40; 70; 100; 200; 400; 700; 1000
Amplificador	
Ganancia:	2 V/V
Adquisición de datos	
Duración:	120 s (a cada frecuencia fijada)
Magnitud estudiada:	V_{max}
Velocidad de muestreo:	100 kHz
Programas utilizados:	programa1.m; daq1.m
Posiciones estudiadas:	P; A; B (definidos en la figura 33)

Tabla 16. Características del ensayo I

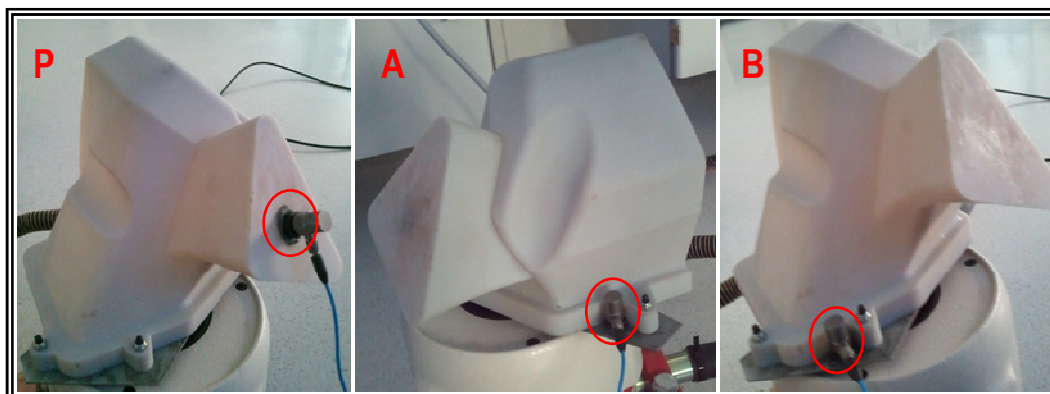


Figura 33. Posiciones de la toma de datos

La elección de las posiciones de localización del acelerómetro no ha sido aleatoria. Para la realización de los ensayos es necesario conocer la relación entre la aceleración de salida y de entrada, o su traducción a la amplitud de tensión.

Como dato de salida se decide realizar el pilotaje en un único punto P, situado en el centro de la superficie 'triangular'. Por el contrario, para la toma de los datos de entrada al Air-Box se decide realizar un pilotaje a partir de varios puntos, concretamente se tomarán datos en dos posiciones distintas, A y B, situadas ambas sobre de la placa de anclaje y muy cercanas a los puntos de fijación de ésta con el Air-Box. Las 3 posiciones de medida corresponden a las mostradas en la figura 33.

Tras la realización de la prueba se exportan a Excel los datos obtenidos como resultado, con el fin de tratarlos y poder extraer de ellos conclusiones útiles. Puesto que para la comparación de la señal de entrada y la de salida no es posible utilizar el pilotaje en A y B por separado, se decide utilizar como magnitud de entrada a la pieza la media aritmética entre los valores adquiridos en ambos puntos.

Resultados									
Frecuencias (Hz):	10	20	40	70	100	200	400	700	1000
Lectura en P:	0,790	0,596	0,364	0,163	0,157	0,175	0,400	0,136	0,092
Lectura en A:	0,545	0,952	0,411	0,187	0,275	0,218	0,464	0,309	0,169
Lectura en B:	0,516	0,722	0,208	0,240	0,240	0,265	0,280	0,520	0,082
Media A y B:	0,531	0,837	0,309	0,214	0,257	0,242	0,372	0,414	0,126
Salida/Entrada:	1,487	0,712	1,178	0,763	0,609	0,723	1,074	0,328	0,735

Tabla 17. Resultados del ensayo I

Para poder observar más fácilmente los resultados, se decide representarlos gráficamente obteniéndose la figura 34.

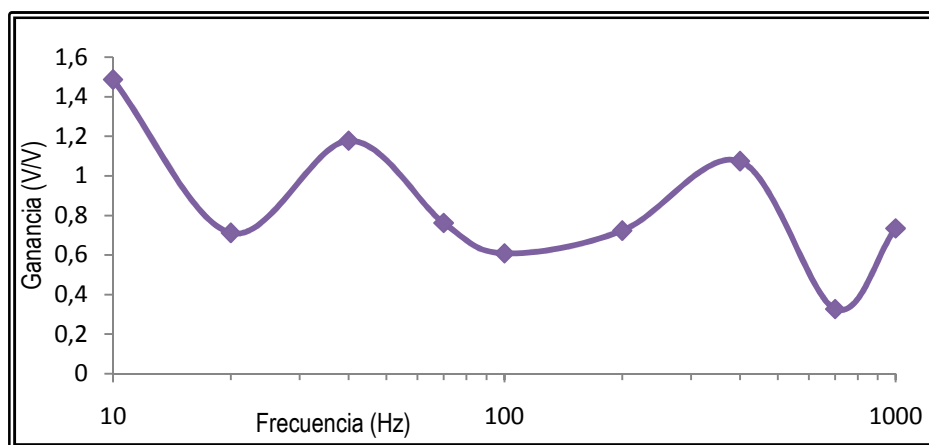


Figura 34. Resultado del ensayo I

De la gráfica en la cual se representan los resultados obtenidos del primer ensayo se observa un comportamiento que visualmente no corresponde a la linealidad esperada. Si bien es cierto que las diferencias se aprecian fuertemente debido a la escala de la gráfica, éstas no son significativas en cuanto a los valores reales, aunque sí lo es que se alternen en numerosas ocasiones valores superiores e inferiores a la unidad.

Además se cree que puede ser un error utilizar los máximos leídos, ya que un dato erróneo y demasiado elevado daría lugar a resultados que no se corresponde con la lectura real. Por esto se decide realizar cambios en los programas utilizados para trabajar en los futuros ensayos con el valor medio de los datos adquiridos.

9.2 Ensayo II

En este segundo ensayo se realizarán algunos cambios significativos respecto al anterior. Como ya se dijo, se modificará el tratamiento de los datos para utilizar como magnitud de estudio la tensión media de los valores absolutos de la onda de salida. Además se modificará el rango de frecuencias adecuándolo al recomendado en el anexo C de la CEI 60068-2-6. Finalmente, las características del ensayo realizado corresponden con las expuestas en la tabla 18.



Generador de señales	
Tipo de onda:	Seno
Amplitud de la onda:	2 V _{pp}
Tipo de ensayo:	Frecuencias discretas
Frecuencias:	10; 12; 15; 20; 30; 40; 50; 70; 100; 120; 150
Amplificador	
Ganancia:	2 V/V
Adquisición de datos	
Duración:	60 s (a cada frecuencia fijada)
Magnitud estudiada:	V _{med}
Velocidad de muestreo:	100 kHz
Programas utilizados:	programa1.m; daq1.m
Posiciones estudiadas:	P; A; B

Tabla 18. Características del ensayo II

A continuación, se realiza un tratamiento de datos similar al del ensayo I, del cual se obtienen los valores expuestos en la tabla 19 y figura 35.

Resultados											
Frecuencias (Hz):	10	12	15	20	30	40	50	70	100	120	150
Lectura en P:	0,037	0,058	0,089	0,110	0,065	0,071	0,081	0,046	0,062	0,081	0,119
Lectura en A:	0,027	0,036	0,054	0,112	0,109	0,105	0,053	0,080	0,133	0,214	0,053
Lectura en B:	0,025	0,034	0,051	0,069	0,072	0,050	0,154	0,120	0,098	0,102	0,070
Media A y B:	0,026	0,035	0,052	0,090	0,091	0,078	0,104	0,100	0,116	0,158	0,062
Salida/Entrada:	1,459	1,668	1,707	1,216	0,726	0,925	0,785	0,460	0,541	0,518	1,932

Tabla 19. Resultados del ensayo II

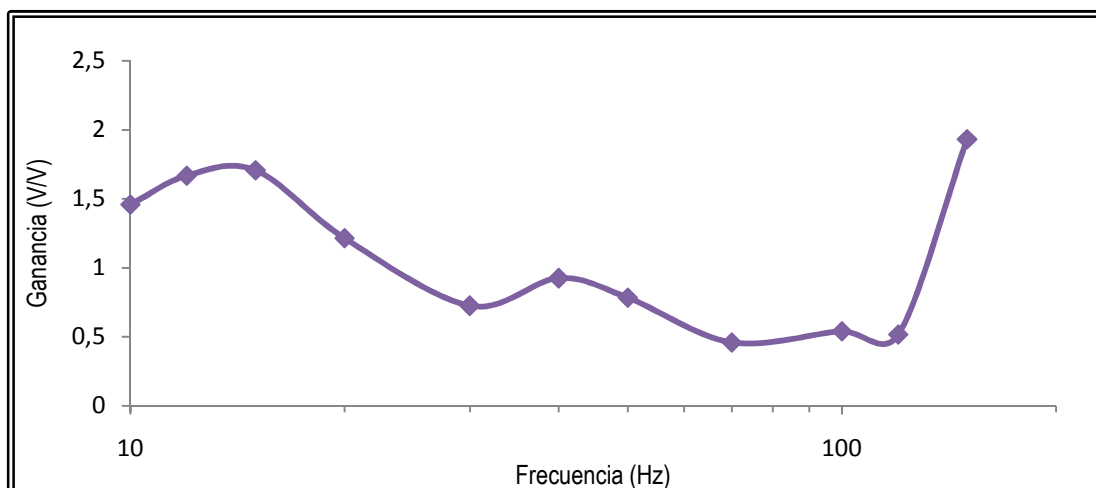


Figura 35. Resultado del ensayo II

El rango de frecuencias estudiado en este caso puede considerarse baja frecuencia, y en los resultados obtenidos se observa como el comportamiento sigue sin ser lineal (aunque al igual que en el caso anterior las variaciones no son excesivamente importantes cuantitativamente).

Además se observa que en ciertas frecuencias debido a la vibración a la que se somete la pieza, el utillaje golpea contra la mesa, por lo que podría ser que los datos obtenidos en esas frecuencias no fuesen correctos, esto se intentará corregir en el siguiente ensayo.

9.3 *Ensayo III*

Para evitar el golpeo del utillaje en el equipo de vibración apreciado en el ensayo anterior se reduce la amplitud de la onda creada en el generador de señales y se realizan nuevas tomas de datos según las características de la tabla 20.

Generador de señales	
Tipo de onda:	Seno
Amplitud de la onda:	1 V _{pp}
Tipo de ensayo:	Frecuencias discretas
Frecuencias:	10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100; 120; 140; 160; 180; 200
Amplificador	
Ganancia:	2 V/V
Adquisición de datos	
Duración:	60 s (a cada frecuencia fijada)
Magnitud estudiada:	V _{med}
Velocidad de muestreo:	100 kHz
Programas utilizados:	programa1.m; daq1.m
Posiciones estudiadas:	P; A; B

Tabla 20. Características del ensayo III

Se realiza el ensayo, buscando resultados más cercanos a los esperados y se obtienen los expuestos en la tabla 21 y la figura 36.

Resultados								
Frecuencias (Hz):	10	20	30	40	50	60	70	80
Lectura en P:	0,014	0,021	0,038	0,038	0,029	0,026	0,025	0,032
Lectura en A:	0,015	0,032	0,063	0,050	0,048	0,044	0,047	0,064
Lectura en B:	0,015	0,028	0,037	0,044	0,064	0,066	0,062	0,053
Media A y B:	0,015	0,030	0,050	0,047	0,056	0,055	0,054	0,058
Salida/Entrada:	0,920	0,719	0,745	0,817	0,512	0,480	0,458	0,540
Frecuencias (Hz):	90	100	120	140	160	180	200	
Lectura en P:	0,029	0,030	0,036	0,031	0,091	0,068	0,031	
Lectura en A:	0,063	0,074	0,135	0,077	0,051	0,066	0,050	
Lectura en B:	0,053	0,053	0,056	0,042	0,048	0,060	0,067	
Media A y B:	0,058	0,063	0,095	0,059	0,049	0,063	0,059	
Salida/Entrada:	0,502	0,476	0,374	0,527	1,834	1,073	0,527	

Tabla 21. Resultados del ensayo III

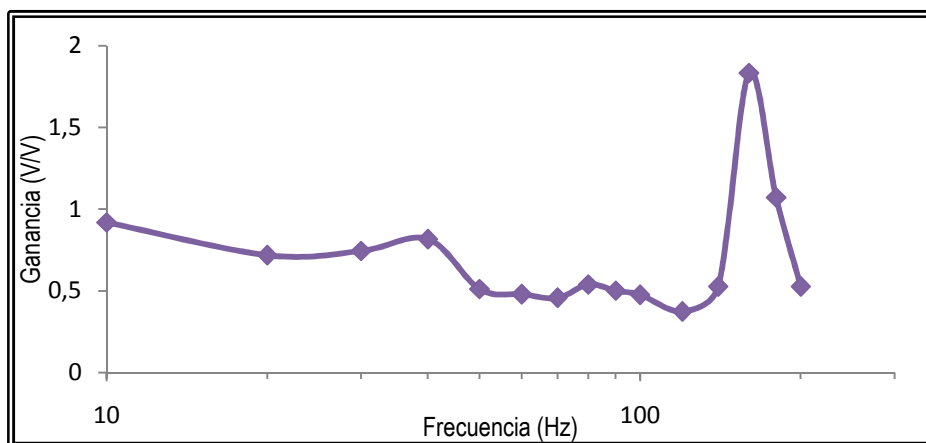


Figura 36. Resultados del ensayo III

Tras estos ensayos iniciales se plantea la posibilidad de que las lecturas de datos no estén siendo correctas. Aunque en este caso se observa una linealidad en parte de los datos, otros se alejan de los valores esperados. Cabe destacar que la disparidad de datos se acentúa a frecuencias bajas y también entre los 140 y los 200 Hz.

Debido a la diferencia entre datos obtenidos y esperados, y en busca de posibles causas que expliquen este comportamiento anómalo, se decide analizar los diagramas de frecuencias de los datos adquiridos.

9.4 *Ensayo IV*

Puesto que la finalidad de este apartado es estudiar la respuesta en frecuencia obtenida tras excitar el Air-Box bajo distintas señales oscilatorias y no realizar un estudio para obtener la frecuencia crítica, las pruebas realizadas en este apartado, no pueden ser consideradas un ensayo sobre la pieza.

Puesto que la finalidad de este apartado varía con respecto a la de los anteriores será necesario realizar cambios importantes en el tratamiento de los datos adquiridos, por lo que será necesario programar un nuevo código orientado a las nuevas necesidades. En la siguiente tabla se muestran las características escogidas para esta nueva prueba.

Generador de señales	
Tipo de onda:	Seno
Amplitud de la onda:	1 V _{pp}
Tipo de ensayo:	Frecuencias discretas
Frecuencias:	10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100; 150; 200
Amplificador	
Ganancia:	2 V/V
Adquisición de datos	
Duración:	1 s
Magnitud estudiada:	Diagrama de frecuencias
Velocidad de muestreo:	10 kHz
Programas utilizados:	frecuencias1.m
Posiciones estudiadas:	P

Tabla 22. Características del ensayo IV

Siguiendo los parámetros anteriores se han analizado un numeroso grupo de datos, bajo distintas frecuencias de excitación y el resultado obtenido ha sido el mismo en todos los casos, se presentan en la figura 37, los diagramas de obtenidos al excitar el Air-Box con frecuencias de 40 y 200 Hz, presentándose los diagramas de la totalidad de los datos estudiados en el anexo II de este proyecto.

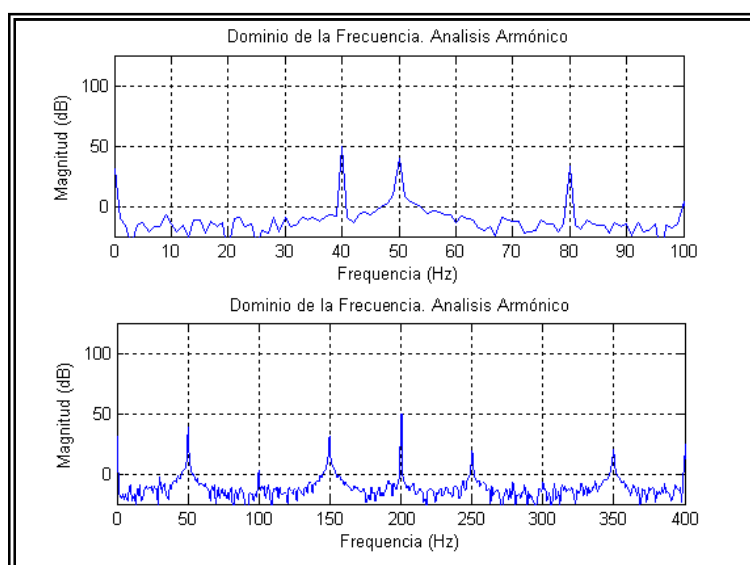


Figura 37. Diagrama de frecuencias al excitar con 40 Hz (arriba) y 200 Hz (abajo)



Como podemos observar en los diagramas de frecuencias, además de la magnitud de la frecuencia a la cual se estimula el Air-Box, la señal leída contiene picos a otras frecuencias y el de mayor valor corresponde en todos los casos estudiados con los 50 Hz.

Además se puede ver que el valor de estos picos no es despreciable respecto al de las distintas frecuencias de oscilación. Por este motivo se considera la posibilidad de que los picos correspondientes a estas frecuencias no buscadas pueden ser los causantes de que los resultados obtenidos disten de los esperados.

El hecho de encontrar el mayor pico en la frecuencia a los 50 Hz, y de que existan también picos en sus armónicos podría corresponderse con la frecuencia de red. Es habitual que en señales medidas de sistemas eléctricos aparezca este pico en la frecuencia. Estas interferencias podrían ser despreciables en otros ensayos, pero puesto que estas pruebas se están realizando bajo valores pequeños de tensión su influencia puede falsear fácilmente los datos obtenidos.

Para poder continuar realizando ensayos y mejorando sus condiciones se intenta encontrar una solución a estos picos de frecuencia indeseables. Se piensa que la mejor solución sería la de utilizar un filtro que eliminase estas frecuencias parásitas y mejorase los resultados obtenidos, acercándolos más a la respuesta real de Air-Box.

9.5 Ensayo V

Tras decidir que un filtrado de la señal adquirida podría solucionar el problema de las señales parásitas, y mejorar los resultados obtenidos, hemos de concretar las características del filtro. La elección del filtro a utilizar, será la finalidad de este quinto ensayo.

En lo referido a la elección del filtro existen varias opciones, inicialmente se pensó en un filtro paso-banda que únicamente permitiese el paso de las señales cuya frecuencia corresponda con la de estudio. Otra de las opciones podría pasar por un filtro elimina-banda que eliminase la señal de frecuencia 50 Hz, ya que este valor corresponde con la frecuencia indeseada de mayor magnitud del espectro y por tanto la que más influye en el falseo de los datos adquiridos. Además, se introduce una tercera opción, consistente en la suma de los dos filtros utilizados en las opciones anteriores.



Sin importar que tipo de filtro electrónico se elija, será necesario realizar una segunda elección, la referente a la función de transferencia del filtro. Puesto que para la adquisición de datos se utiliza el programa MATLAB, se decide realizar pruebas con los filtros Butterworth y Chebyshev, ya que ambos filtros se encuentran como funciones predefinidas de MATLAB, y para su utilización bastará con introducir algunas características básicas del filtrado que se desea realizar.

Será necesario crear un nuevo script en MATLAB que incluya los diferentes tipos de filtros que se cree que podrían dar buenos resultados. En concreto, se programarán filtros de primer y segundo orden del tipo Butterworth y Chebyshev. Cualquiera de estos filtros se implementará en las tres opciones expuestas anteriormente: paso-banda, elimina-banda y ambos unidos. Estos nuevos scripts, contenidos en el anexo I al igual que el resto de los utilizados para estos ensayos, tendrán dos objetivos diferenciados.

Uno de ellos adquirirá los datos y los guardará en un archivo junto con las principales características que marcan su adquisición. El otro script analizará los datos, proporcionando varias gráficas según los tipos de filtros elegidos para el estudio. Los datos de partida que se utilizarán están expuestos en la tabla 23.

Generador de señales	
Tipo de onda:	Seno
Amplitud de la onda:	1 V _{pp}
Tipo de ensayo:	Frecuencias discretas
Frecuencias:	40; 70; 200
Amplificador	
Ganancia:	2 V/V
Adquisición de datos	
Duración:	1 s
Magnitud estudiada:	Señal filtrada
Velocidad de muestreo:	100 kHz
Programas utilizados:	daq2.m; filtro1.m; pruebasR.m
Posiciones estudiadas:	P

Tabla 23. Características del ensayo V



Se decide estudiar a fondo las 3 frecuencias indicadas, sin embargo previamente se comprueba que el efecto de los filtros en los datos correspondientes a otras frecuencias de excitación es similar.

Se ejecutan todas las opciones dadas por el script en su menú, para cada una de las 3 frecuencias que se decide estudiar. Aunque al ejecutar todas las opciones algunos de los filtros actúan y por tanto se representan en más de una ocasión, se decide ejecutar todas las opciones porque de esta manera se permite la comparación entre los distintos filtros de forma sencilla. Todas las imágenes obtenidas del programa se adjuntan en el anexo III de este proyecto para que puedan ser la base de las conclusiones obtenidas en este apartado.

Se decide comenzar el análisis de los resultados comparando las salidas que se producen al ejecutar las primeras cuatro opciones dadas por el menú de filtro1.m. Cada conjunto de gráficas derivadas del análisis permite comparar fácilmente la señal resultante tras el filtrado mediante un filtro paso-banda, un filtro elimina-banda y la combinación de ambos.

El filtro paso-banda se programa de tal forma que la frecuencia central de la banda permitida coincida con la frecuencia de excitación del ensayo realizado. En las gráficas correspondientes a este tipo de filtro se observa que en pruebas realizadas a bajas frecuencias (<100 Hz), el filtro no consigue eliminar completamente la señal de 50 Hz, por lo que los resultados siguen alejados de la realidad.

En lo referente al filtro elimina-banda, la banda eliminada no depende de la frecuencia de excitación, sino que es constante en todas las pruebas, ya que pretende eliminar la señal parásita de mayor influencia, por lo que tiene como frecuencia central de la banda eliminada los 50 Hz. En la respuesta de este filtro se observa que no elimina los armónicos existentes por lo que estos seguirán influyendo de forma negativa en los resultados.

Finalmente al estudiar los resultados de un doble filtrado realizado como adición de los dos filtros expuestos en los párrafos anteriores nos encontramos, tal como esperábamos con las ventajas ambos. Como se suponía la superposición de ambos filtros permite eliminar tanto la principal señal indeseable, de 50 Hz, como el resto de señales parásitas.

Gracias a este primer análisis se realiza una primera elección, se decide que la señal se someta a un doble filtrado. En primer lugar, y mediante un filtro elimina-banda con frecuencia central 50 Hz, se eliminará la señal correspondiente a esta frecuencia. En segunda instancia se



someterán los datos a un filtrado paso-banda que permitirá el paso de las señales con frecuencia aproximada a la de excitación, eliminando el resto de frecuencias indeseadas.

Tomada ya esta primera decisión, seguiremos comparando los resultados del resto de opciones del programa filtro1.m con la intención de terminar de definir el mejor filtrado para nuestro análisis de señales. Sin embargo, puesto que hemos desechado el uso de un filtro paso-banda y elimina-banda por separado, nos centraremos en la opción 7 del menú, la que nos presenta las respuestas de los distintos filtros dobles.

A primera vista se observa como los filtros de segundo orden cumplen su función mucho mejor que los de primer orden, ya que proporcionan respuestas en frecuencia mucho más limpias. Por este motivo se decide utilizar estos filtros de segundo orden en nuestro proyecto. Quedando en este momento una única elección, el tipo de función de transferencia utilizada, es decir, elegir entre el uso de un filtro Butterworth o Chebyshev de tipo I.

Para esta última elección, debemos centrarnos en las gráficas de la columna derecha de la opción que ya estábamos estudiando, ya que son estas las que representan los filtros de segundo orden. Como se puede observar el uso de ambos filtros proporciona resultados bastante similares por lo que no hay una característica clave en la que basar nuestra decisión. Sin embargo, el filtro Chebyshev permite introducir un parámetro R al filtrado que produce cambios en su comportamiento. En este caso se ha usado un valor de $R=0,5$ que es el recomendado por MATLAB pero se cree que utilizando otros valores los resultados del filtro podrían mejorar.

Por todo esto se decide elegir un filtro del tipo Chebyshev y realizar algunas pruebas en las que se comparen los resultados para distintos valores de R , buscando el que proporciona un mejor filtrado. Para esto se diseña un nuevo programa en MATLAB, pruebasR.m, este programa permite analizar un conjunto de datos leídos, utilizando un doble filtro Chebyshev, paso-banda y elimina-banda, de segundo orden. Utilizando como valores de R : 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5 y 4, se pretende presentar en pantalla las gráficas de las señales resultantes tras los filtrados para que se pueda decidir el valor de R más acertado.

Tal como se hizo anteriormente con el programa filtro1.m, pruebasR.m se ejecutará para el conjunto de datos obtenidos como respuesta del Air-Box a las excitaciones bajo 40 Hz, 70 Hz y 200 Hz. E igualmente las gráficas resultantes se adjuntan en el anexo III.



Observando las gráficas correspondientes a los 40 Hz, se nota que bajo cualquier valor de R , la única señal que supera los 0 dB, corresponde a la frecuencia a la cual se excita el Air-Box. Además el efecto de aumentar el valor de R , es una mayor disminución de los decibelios correspondientes a las frecuencias no deseadas. Esta disminución no es significativa, por lo que podemos considerar que en este caso, cualquier valor de R proporciona resultados válidos.

Posteriormente se analizan las gráficas obtenidas a partir de los datos recogidos bajo excitaciones de 70 y 200 Hz, y se pueden hacer exactamente las mismas observaciones que en el caso de los 40 Hz. Debido a este motivo se decide mantener 0,5 como valor de R para el filtrado de señales de nuestro proyecto.

Como conclusión de este ensayo definimos totalmente el filtro que utilizaremos para el tratamiento de los datos del ensayo de frecuencia crítica. La opción elegida es un filtro Chebyshev de segundo orden, realizando un filtrado elimina-banda para eliminar las señales a 50 Hz, y otro paso-banda que elimine el resto señales correspondientes a frecuencias parásitas. Además se elegirá un valor de $R=0,5$ como parámetro de filtrado.

9.6 *Ensayo VI*

Al realizar las pruebas previas, se ha conseguido conocer la respuesta del ensayo frente a las diferentes variables que influyen en él, de esta forma se han podido modificar los distintos valores de las misma consiguiendo un desarrollo correcto de los ensayos de vibración. Además se han observado los resultados, y debido a los errores encontrados se han modificado los programas para la adquisición de datos, consiguiendo la eliminación de señales parásitas que influían en los datos, falseándolos y haciendo que el comportamiento esperado y los resultados obtenidos se alejaran.

Como en los casos anteriores, se decide adquirir los datos de forma discreta. Sin embargo, en esta ocasión se decide no elegir las frecuencias a estudiar de forma aleatoria, se opta por seguir un método. En concreto se busca la equidistancia de los datos en el eje logarítmico.

Puesto que esta equidistancia no es obligatoria, sino un criterio elegido y que para conseguirla con exactitud sería necesario incurrir en frecuencias decimales, se decide tomar



como valores de estudio frecuencias cercanas a los valores obtenidos, en concreto se decide estudiar 16 frecuencias por década.

El estudio se realizará entre los 10 y los 2000 Hz, la señal recogida será filtrada según las elecciones realizadas en el apartado anterior. El valor resultante será tomado como valor nominal para el estudio de frecuencia crítica.

Además al contrario que en las pruebas anteriores en esta toma de datos se esperará un tiempo antes de comenzar con la adquisición, para permitir que la pieza alcance un estado de vibración estacionario y los datos no se vean afectados por el comportamiento transitorio de la pieza desde la frecuencia anterior hasta la del ensayo actual. Los valores elegidos para cada una de las características de este ensayo se encuentran recogidos en la tabla 24.

Generador de señales	
Tipo de onda:	Seno
Amplitud de la onda:	1 V _{pp}
Tipo de ensayo:	Frecuencias discretas
Frecuencias:	10; 11; 13; 16; 18; 20; 24; 27; 32; 36; 42; 48; 57; 64; 74; 87; 100; 110; 130; 160; 180; 200; 240; 270; 320; 360; 420; 480; 570; 640; 740; 870; 1 000; 2 000
Amplificador	
Ganancia:	2 V/V
Adquisición de datos	
Duración:	30 s (de espera) + 60 s
Magnitud estudiada:	V _{med} de la señal filtrada
Velocidad de muestreo:	10 kHz
Programas utilizados:	programa2.m; daqf.m
Posiciones estudiadas:	P; A; B

Tabla 24. Características del ensayo VI

Tras la realización del ensayo, trabajaremos con los datos resultantes del filtrado de la señal leída. Al igual que en otras de las pruebas realizadas anteriormente, la lectura de la señal de excitación del Air-Box se realizará en dos puntos, tomándose como valor nominal la media entre ambas medidas, ésta será la señal de entrada al Air-Box. La respuesta del Air-Box leída en



el punto P será comparada con la señal de entrada. Como resultado se obtendrá la ganancia de tensión, que se estudiará en busca de la frecuencia crítica.

En la tabla 25 se muestran los resultados de las lecturas realizadas en este ensayo, así como los valores obtenidos al realizar los distintos cálculos necesarios que representan el comportamiento del Air-Box. Así mismo se representarán estos resultados en la figura 38, para mostrar gráficamente el comportamiento de la pieza frente a la vibración.



Resultados								
Frecuencias (Hz):	10	11	13	16	18	20	24	27
Lectura en P:	0,0035	0,0041	0,0060	0,0095	0,0119	0,0149	0,0213	0,0268
Lectura en A:	0,0062	0,0076	0,0113	0,0175	0,0221	0,0276	0,0392	0,0480
Lectura en B:	0,0060	0,0074	0,0104	0,0155	0,0195	0,0229	0,0291	0,0315
Media A y B:	0,0061	0,0075	0,0108	0,0165	0,0208	0,0253	0,0341	0,0397
Salida/Entrada:	0,5618	0,5516	0,5506	0,5728	0,5739	0,5897	0,6233	0,6747
Frecuencias (Hz):	32	36	42	48	57	64	74	87
Lectura en P:	0,0236	0,0269	0,0094	0,0007	0,0202	0,0247	0,0210	0,0283
Lectura en A:	0,0586	0,0597	0,0345	0,0012	0,0312	0,0414	0,0411	0,0542
Lectura en B:	0,0267	0,0249	0,0520	0,0018	0,0492	0,0573	0,0540	0,0467
Media A y B:	0,0427	0,0423	0,0432	0,0015	0,0402	0,0493	0,0475	0,0504
Salida/Entrada:	0,5538	0,6359	0,2181	0,4802	0,5019	0,5013	0,4423	0,5606
Frecuencias (Hz):	100	110	130	160	180	200	240	270
Lectura en P:	0,0293	0,0300	0,0553	0,0693	0,0858	0,0322	0,1064	0,0583
Lectura en A:	0,0668	0,0853	0,1534	0,0427	0,0614	0,0309	0,0523	0,0337
Lectura en B:	0,0449	0,0437	0,0136	0,0475	0,0529	0,0599	0,0414	0,0187
Media A y B:	0,0558	0,0645	0,0835	0,0451	0,0571	0,0454	0,0468	0,0262
Salida/Entrada:	0,5257	0,4657	0,6626	1,5362	1,5028	0,7082	2,2735	2,2235
Frecuencias (Hz):	320	360	420	480	570	640	740	870
Lectura en P:	0,0584	0,0471	0,0852	0,0442	0,0177	0,0062	0,0114	0,0199
Lectura en A:	0,0270	0,0312	0,0764	0,0161	0,0525	0,1019	0,0214	0,0340
Lectura en B:	0,0329	0,0473	0,0087	0,0793	0,0433	0,0551	0,0311	0,0319
Media A y B:	0,0300	0,0392	0,0425	0,0477	0,0479	0,0785	0,0262	0,0329
Salida/Entrada:	1,9497	1,1996	2,0029	0,9257	0,3689	0,0791	0,4336	0,6037
Frecuencias (Hz):	1 000	1 100	1 300	1 600	1 800	2 000		
Lectura en P:	0,0071	0,0032	0,0070	0,0005	0,0044	0,0020		
Lectura en A:	0,0291	0,0193	0,0155	0,0622	0,0439	0,0237		
Lectura en B:	0,0274	0,0135	0,0362	0,0011	0,0090	0,0085		
Media A y B:	0,0283	0,0164	0,0259	0,0316	0,0265	0,0161		
Salida/Entrada:	0,2512	0,1944	0,2717	0,0172	0,1681	0,1236		

Tabla 25. Resultados del ensayo VI

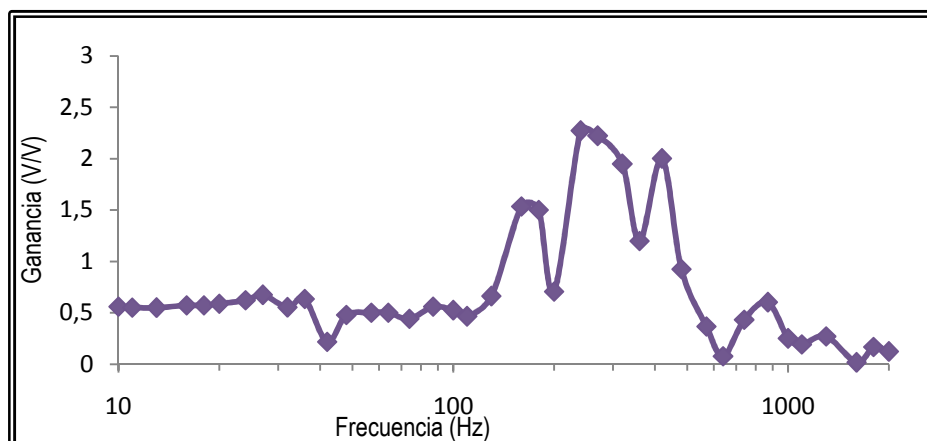


Figura 38. Resultados del ensayo VI

En la gráfica de resultados se observa un comportamiento que podría considerarse lineal a frecuencias inferiores a los 100 Hz, además cuando se superan los 1 000 Hz el comportamiento parece estabilizarse nuevamente. Sin embargo, en el intervalo restante los datos presentan un comportamiento bastante irregular. Debido a esta conducta, se cree que en este rango se podría encontrar la frecuencia crítica de la pieza y por tanto se decide realizar un nuevo ensayo en este rango de frecuencias.

9.7 *Ensayo VII*

Tras los resultados del anterior ensayo se decide centrar este ensayo en la zona de comportamiento irregular, esperando conseguir un comportamiento de los datos más cercano al esperado. Además puesto que se espera que en este intervalo se encuentre la frecuencia propia de vibración del Air-Box se decide aumentar el número de frecuencias estudiadas en el intervalo.

Para asegurar que los datos obtenidos en este conflictivo rango no sean erróneos, se decide recorrer el rango en dos ocasiones, tomando la media de las tensiones leídas como valor nominal. Las características de este ensayo, aparecen al igual que en los casos anteriores en la siguiente tabla.

Generador de señales	
Tipo de onda:	Seno
Amplitud de la onda:	1 V _{pp}
Tipo de ensayo:	Frecuencias discretas
Frecuencias:	100; 107; 115; 124; 133; 143; 154; 165; 178; 191; 205; 220; 237; 255; 274; 294; 316; 340; 365; 392; 421; 453; 487; 523; 562; 604; 649; 698; 750; 806; 866; 930; 1 000
Amplificador	
Ganancia:	2 V/V
Adquisición de datos	
Duración:	30 s (de espera) + 60 s
Magnitud estudiada:	V _{med} de la señal filtrada
Velocidad de muestreo:	10 kHz
Programas utilizados:	programa2.m; daqf.m
Posiciones estudiadas:	P; A; B

Tabla 26. Características del ensayo VII

De la adquisición de datos realizada en los puntos P, A y B se obtienen los resultados mostrados en la tabla 27, 28 y 29, respectivamente.



Resultados en P									
Frecuencias (Hz):	100	107	115	124	133	143	154	165	178
Lectura en P:	0,0254	0,0256	0,0238	0,0607	0,0332	0,0455	0,0802	0,0480	0,0702
Media:	0,0254	0,0254	0,0237	0,0580	0,0340	0,0455	0,0804	0,0501	0,0649
Frecuencias (Hz):	191	205	220	237	255	274	294	316	340
Lectura en P:	0,0308	0,0518	0,1161	0,1047	0,0790	0,0490	0,0381	0,0626	0,0816
Media:	0,0306	0,0512	0,1160	0,1045	0,0790	0,0489	0,0380	0,0626	0,0808
Frecuencias (Hz):	365	392	421	453	487	523	562	604	649
Lectura en P:	0,2101	0,1684	0,0985	0,0129	0,0557	0,0419	0,0661	0,0230	0,0285
Media:	0,1946	0,1686	0,0943	0,0125	0,0556	0,0444	0,0651	0,0231	0,0283
Frecuencias (Hz):	698	750	806	866	930	1 000			
Lectura en P:	0,0149	0,0070	0,0058	0,0123	0,0062	0,0030			
Media:	0,0149	0,0069	0,0058	0,0124	0,0062	0,0031			
Media:	0,0149	0,0069	0,0058	0,0124	0,0062	0,0030			

Tabla 27. Resultados de la lectura en P



Resultados en A									
Frecuencias (Hz):	100	107	115	124	133	143	154	165	178
Lectura en A:	0,0639	0,0776	0,1019	0,1584	0,0889	0,0288	0,0368	0,0415	0,0652
Media:	0,0640	0,0760	0,1012	0,1470	0,0938	0,0325	0,0420	0,0322	0,0561
Frecuencias (Hz):	191	205	220	237	255	274	294	316	340
Lectura en A:	0,0369	0,0200	0,0333	0,0543	0,0391	0,0336	0,0280	0,0263	0,0347
Media:	0,0377	0,0195	0,0347	0,0624	0,0406	0,0337	0,0280	0,0263	0,0354
Frecuencias (Hz):	365	392	421	453	487	523	562	604	649
Lectura en A:	0,0103	0,0854	0,0678	0,0150	0,0383	0,0536	0,0511	0,0368	0,1175
Media:	0,0102	0,0860	0,0672	0,0149	0,0389	0,0537	0,0511	0,0364	0,1177
Frecuencias (Hz):	698	750	806	866	930	1 000			
Lectura en A:	0,0293	0,0184	0,0072	0,0237	0,0061	0,0236			
Media:	0,0286	0,0181	0,0078	0,0247	0,0063	0,0229			
Frecuencias (Hz):	698	750	806	866	930	1 000			
Lectura en A:	0,0293	0,0184	0,0072	0,0237	0,0061	0,0236			
Media:	0,0289	0,0182	0,0075	0,0242	0,0062	0,0233			

Tabla 28. Resultados de la lectura en A



Resultados en B									
Frecuencias (Hz):	100	107	115	124	133	143	154	165	178
Lectura en B:	0,0448	0,0440	0,0436	0,0419	0,0282	0,0387	0,0362	0,0538	0,0541
Media:	0,0449	0,0440	0,0437	0,0415	0,0284	0,0389	0,0362	0,0540	0,0541
Frecuencias (Hz):	191	205	220	237	255	274	294	316	340
Lectura en B:	0,0533	0,0648	0,0843	0,0537	0,0168	0,0216	0,0360	0,0292	0,0532
Media:	0,0541	0,0667	0,0831	0,0467	0,0151	0,0237	0,0344	0,0312	0,0565
Frecuencias (Hz):	365	392	421	453	487	523	562	604	649
Lectura en B:	0,0476	0,0556	0,0079	0,0321	0,1128	0,0504	0,0220	0,0582	0,0730
Media:	0,0508	0,0500	0,0072	0,0340	0,1266	0,0451	0,0256	0,0546	0,0777
Frecuencias (Hz):	698	750	806	866	930	1 000			
Lectura en B:	0,0551	0,0386	0,0319	0,0187	0,0123	0,0026			
Media:	0,0524	0,0354	0,0297	0,0176	0,0122	0,0209			
Frecuencias (Hz):	698	750	806	866	930	1 000			
Lectura en B:	0,0551	0,0386	0,0319	0,0187	0,0123	0,0026			
Media:	0,0537	0,0370	0,0308	0,0182	0,0122	0,0117			

Tabla 29. Resultados de la lectura en B

Para poder asegurar que los datos adquiridos se comportan correctamente se decide imponer que las mediciones se alejen menos de un 10 % de la media de ambas tomas. Para aquellos datos que no cumplan este requisito se decide tomar 10 lecturas y utilizar como valor nominal la media de ellas para evitar errores, el resultado es el mostrado en la tabla 30.

Corrección de errores							
Punto	Frecuencia	Lecturas					Media
A	165 Hz	0,0328	0,0330	0,0331	0,0334	0,0338	0,0330
		0,0336	0,0328	0,0328	0,0326	0,0326	
B	1 000 Hz	0,0190	0,0186	0,0186	0,0191	0,0191	0,0190
		0,0193	0,0193	0,0189	0,0194	0,0187	

Tabla 30. Toma de datos para sustituir los erróneos



Una vez realizados estos cálculos y corregidas las tomas erróneas se realizarán las operaciones necesarias para obtener los resultados finales y poder mostrarlos en la figura 39.

Resultados									
Frecuencias (Hz):	100	107	115	124	133	143	154	165	178
Lectura en P:	0,0254	0,0255	0,0237	0,0593	0,0336	0,0455	0,0803	0,0491	0,0676
Lectura en A:	0,0640	0,0768	0,1016	0,1527	0,0914	0,0307	0,0394	0,0331	0,0607
Lectura en B:	0,0449	0,0440	0,0437	0,0415	0,0284	0,0389	0,0362	0,0540	0,0541
Media A y B:	0,0545	0,0604	0,0727	0,0971	0,0599	0,0348	0,0378	0,0435	0,0574
Salida/Entrada:	0,4656	0,4224	0,3268	0,6111	0,5614	1,3083	2,1243	1,1276	1,1768
Frecuencias (Hz):	191	205	220	237	255	274	294	316	340
Lectura en P:	0,0307	0,0515	0,1160	0,1046	0,0790	0,0490	0,0380	0,0626	0,0812
Lectura en A:	0,0373	0,0198	0,0340	0,0583	0,0399	0,0337	0,0280	0,0263	0,0350
Lectura en B:	0,0537	0,0657	0,0837	0,0502	0,0160	0,0226	0,0352	0,0302	0,0549
Media A y B:	0,0455	0,0428	0,0589	0,0543	0,0280	0,0282	0,0316	0,0283	0,0450
Salida/Entrada:	0,6747	1,2047	1,9716	1,9279	2,8253	1,7389	1,2032	2,2159	1,8067
Frecuencias (Hz):	365	392	421	453	487	523	562	604	649
Lectura en P:	0,2024	0,1685	0,0964	0,0127	0,0557	0,0431	0,0656	0,0230	0,0284
Lectura en A:	0,0102	0,0860	0,0672	0,0149	0,0389	0,0537	0,0511	0,0364	0,1177
Lectura en B:	0,0492	0,0528	0,0076	0,0330	0,1197	0,0477	0,0238	0,0564	0,0754
Media A y B:	0,0297	0,0694	0,0374	0,0240	0,0793	0,0507	0,0375	0,0464	0,0966
Salida/Entrada:	6,8131	2,4285	2,5775	0,5294	0,7018	0,8505	1,7527	0,4963	0,2940
Frecuencias (Hz):	698	750	806	866	930	1 000			
Lectura en P:	0,0149	0,0070	0,0058	0,0124	0,0062	0,0030			
Lectura en A:	0,0289	0,0182	0,0075	0,0242	0,0062	0,0233			
Lectura en B:	0,0537	0,0370	0,0308	0,0182	0,0122	0,0190			
Media A y B:	0,0413	0,0276	0,0192	0,0212	0,0092	0,0212			
Salida/Entrada:	0,3600	0,2518	0,3023	0,5830	0,6717	0,1437			

Tabla 31. Resultados del ensayo VII

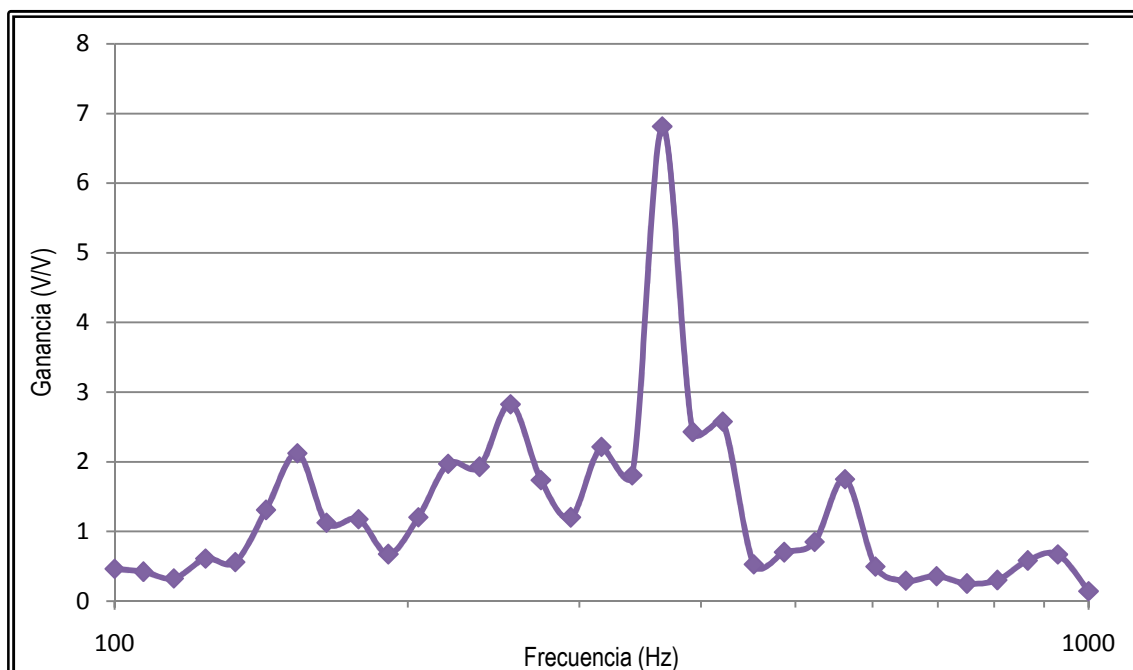


Figura 39. Resultados del ensayo VII

Si se observan los resultados de este ensayo, se puede afirmar que el comportamiento obtenido en este intervalo es similar al esperado, ya que se han conseguido unos valores semejantes para todo el rango de frecuencias, con ganancias inferiores a 1,5. Además existen varios picos de tamaño medio, con ganancias inferiores a 3, que podrían explicarse como la respuesta producida a señales de frecuencia cercana a la frecuencia propia del Air-Box. Así mismo existe un pico muy señalado que representaría la frecuencia crítica de la pieza estudiada.

Se podrían considerar los 365 Hz, correspondientes al pico de ganancia máxima, como la frecuencia crítica del Air-Box, pero esto no sería correcto, ya que no se cumpliría la CEI 60068-2-6 que establece como tolerancia máxima en búsquedas de la frecuencia crítica para valores superiores a 100 Hz un 0,5% de la medida nominal. Puesto que las frecuencias estudiadas más cercanas al pico de ganancia se encuentran a más de un 5% del valor nominal de ésta, será necesario realizar una nueva toma de datos que proporcione un valor de la frecuencia crítica cumpliendo las condiciones de tolerancia exigidas por la norma.

9.8 Ensayo VIII

Este último ensayo del proyecto, tiene como finalidad afinar aún más el valor de la frecuencia crítica del Air-Box, para cumplir con las tolerancias exigidas. Puesto que el ensayo VII ha producido unos resultados muy satisfactorios, se tomará éste como ejemplo, realizando el ensayo VIII con la misma metodología del anterior. En la tabla 32 se adjuntan las características de este ensayo, y en las posteriores se muestran los resultados obtenidos tal y como se hiciera en apartados anteriores.

Generador de señales	
Tipo de onda:	Seno
Amplitud de la onda:	1 V _{pp}
Tipo de ensayo:	Frecuencias discretas
Frecuencias:	340; 341,75; 343,5; 345,25; 347; 348,75; 350,5; 352,25; 354; 355,75; 357,5; 359,25; 361; 362,75; 364,5; 366,25; 368; 369,75; 371,5; 373,25; 375; 376,75; 378,5; 380,25; 382; 383,75; 385,5; 387,25; 389; 390,75; 392,5
Amplificador	
Ganancia:	2 V/V
Adquisición de datos	
Duración:	30 s (de espera) + 60 s
Magnitud estudiada:	V _{med} de la señal filtrada
Velocidad de muestreo:	10 kHz
Programas utilizados:	programa2.m; daqf.m
Posiciones estudiadas:	P; A; B

Tabla 32. Características del ensayo VIII



Resultados en P								
Frecuencias (Hz):	340	341,75	343,5	345,25	347	348,75	350,5	352,25
Lectura en P:	0,0928	0,1083	0,1257	0,1435	0,1613	0,1806	0,2020	0,2190
Media:	0,0941	0,1095	0,1262	0,1438	0,1618	0,1811	0,2022	0,2191
Frecuencias (Hz):	354	355,75	357,5	359,25	361	362,75	364,5	366,25
Lectura en P:	0,2313	0,2347	0,2333	0,2201	0,2068	0,1950	0,1842	0,1753
Media:	0,2308	0,2362	0,2324	0,2194	0,2067	0,1951	0,1846	0,1757
Frecuencias (Hz):	368	369,75	371,5	373,25	375	376,75	378,5	380,25
Lectura en P:	0,1664	0,1588	0,1522	0,1458	0,1402	0,1354	0,1311	0,1276
Media:	0,1668	0,1591	0,1524	0,1460	0,1403	0,1355	0,1313	0,1278
Frecuencias (Hz):	382	383,75	385,5	387,25	389	390,75	392,5	
Lectura en P:	0,1269	0,1245	0,1219	0,1204	0,1196	0,1197	0,1212	
Media:	0,1269	0,1246	0,1220	0,1204	0,1196	0,1198	0,1213	
Frecuencias (Hz):	382	383,75	385,5	387,25	389	390,75	392,5	
Lectura en P:	0,1269	0,1245	0,1219	0,1204	0,1196	0,1197	0,1212	
Media:	0,1268	0,1245	0,1219	0,1203	0,1195	0,1197	0,1212	

Tabla 33. Resultados de la lectura en P



Resultados en A								
Frecuencias (Hz):	340	341,75	343,5	345,25	347	348,75	350,5	352,25
Lectura en A	0,0320	0,0354	0,0393	0,0434	0,0446	0,0419	0,0363	0,0296
	0,0322	0,0355	0,0397	0,0438	0,0447	0,0417	0,0364	0,0297
Media:	0,0321	0,0354	0,0395	0,0436	0,0447	0,0418	0,0364	0,0297
Frecuencias (Hz):	354	355,75	357,5	359,25	361	362,75	364,5	366,25
Lectura en A:	0,0237	0,0193	0,0161	0,0129	0,0098	0,0075	0,0060	0,0060
	0,0238	0,0193	0,0162	0,0129	0,0098	0,0073	0,0060	0,0060
Media:	0,0238	0,0193	0,0162	0,0129	0,0098	0,0074	0,0060	0,0060
Frecuencias (Hz):	368	369,75	371,5	373,25	375	376,75	378,5	380,25
Lectura en A:	0,0079	0,0112	0,0162	0,0228	0,0303	0,0367	0,0435	0,0506
	0,0079	0,0113	0,0164	0,0228	0,0302	0,0367	0,0434	0,0506
Media:	0,0079	0,0113	0,0163	0,0228	0,0302	0,0367	0,0435	0,0506
Frecuencias (Hz):	382	383,75	385,5	387,25	389	390,75	392,5	
Lectura en A	0,0583	0,0653	0,0719	0,0781	0,0845	0,0916	0,1003	
	0,0584	0,0653	0,0719	0,0782	0,0844	0,0917	0,1002	
Media:	0,0583	0,0653	0,0719	0,0782	0,0845	0,0916	0,1002	

Tabla 34. Resultados de la lectura en A



Resultados en B								
Frecuencias (Hz):	340	341,75	343,5	345,25	347	348,75	350,5	352,25
	0,055	0,0591	0,0585	0,0536	0,0473	0,0457	0,0391	0,0379
Lectura en B:	0,0555	0,0592	0,0583	0,0535	0,0472	0,0456	0,0392	0,038
Media:	0,0553	0,0592	0,0584	0,0536	0,0473	0,0457	0,0392	0,0380
Frecuencias (Hz):	354	355,75	357,5	359,25	361	362,75	364,5	366,25
	0,0385	0,04	0,0426	0,0457	0,0496	0,054	0,0597	0,0661
Lectura en B:	0,0385	0,04	0,0426	0,0456	0,0495	0,054	0,0597	0,0661
Media:	0,0385	0,0400	0,0426	0,0457	0,0496	0,0540	0,0597	0,0661
Frecuencias (Hz):	368	369,75	371,5	373,25	375	376,75	378,5	380,25
	0,0736	0,0820	0,0896	0,0929	0,0928	0,0912	0,0862	0,0800
Lectura en B:	0,0737	0,0820	0,0896	0,0926	0,0929	0,0910	0,0863	0,0800
Media:	0,0737	0,0820	0,0896	0,0928	0,0929	0,0911	0,0863	0,0800
Frecuencias (Hz):	382	383,75	385,5	387,25	389	390,75	392,5	
	0,0730	0,0655	0,0583	0,0515	0,0454	0,0397	0,0347	
Lectura en B:	0,0730	0,0655	0,0583	0,0515	0,0454	0,0398	0,0347	
Media:	0,0730	0,0655	0,0583	0,0515	0,0454	0,0398	0,0347	

Tabla 35. Resultados de la lectura en B

Al igual que en el ensayo anterior se exige que las mediciones se alejen menos de un 10 % de la media de ambas tomas, de esta forma se asegura que los datos adquiridos son correctos. En este caso todos los datos cumplen este requisito por lo que se realizarán con ellos los cálculos necesarios para obtener la ganancia existente a las distintas frecuencias estudiadas. Los resultados de estos cálculos se presentan como en los casos anteriores en la tabla 36 y la figura 40.



Resultados									
Frecuencias (Hz):	340	341,75	343,5	345,25	347	348,75	350,5	352,25	340
Lectura en P:	0,0934	0,1089	0,1259	0,1436	0,1616	0,1809	0,2021	0,2190	0,0934
Lectura en A:	0,0321	0,0354	0,0395	0,0436	0,0447	0,0418	0,0364	0,0297	0,0321
Lectura en B:	0,0553	0,0592	0,0584	0,0536	0,0473	0,0457	0,0392	0,0380	0,0553
Media A y B:	0,0437	0,0473	0,0490	0,0486	0,0460	0,0437	0,0378	0,0338	0,0437
Salida/Entrada:	2,1400	2,3026	2,5728	2,9561	3,5149	4,1387	5,3514	6,4776	2,1400
Frecuencias (Hz):	354	355,75	357,5	359,25	361	362,75	364,5	366,25	354
Lectura en P:	0,2311	0,2355	0,2329	0,2198	0,2068	0,1951	0,1844	0,1755	0,2311
Lectura en A:	0,0238	0,0193	0,0162	0,0129	0,0098	0,0074	0,0060	0,0060	0,0238
Lectura en B:	0,0385	0,0400	0,0426	0,0457	0,0496	0,0540	0,0597	0,0661	0,0385
Media A y B:	0,0311	0,0297	0,0294	0,0293	0,0297	0,0307	0,0328	0,0361	0,0311
Salida/Entrada:	7,4185	7,9359	7,9214	7,5116	6,9692	6,3539	5,6140	4,8659	7,4185
Frecuencias (Hz):	368	369,75	371,5	373,25	375	376,75	378,5	380,25	368
Lectura en P:	0,1666	0,1589	0,1523	0,1459	0,1402	0,1354	0,1312	0,1277	0,1666
Lectura en A:	0,0079	0,0113	0,0163	0,0228	0,0302	0,0367	0,0435	0,0506	0,0079
Lectura en B:	0,0737	0,0820	0,0896	0,0928	0,0929	0,0911	0,0863	0,0800	0,0737
Media A y B:	0,0408	0,0466	0,0530	0,0578	0,0615	0,0639	0,0649	0,0653	0,0408
Salida/Entrada:	4,0872	3,4089	2,8751	2,5252	2,2782	2,1192	2,0229	1,9557	4,0872
Frecuencias (Hz):	382	383,75	385,5	387,25	389	390,75	392,5		
Lectura en P:	0,1269	0,1245	0,1220	0,1204	0,1196	0,1197	0,1213		
Lectura en A:	0,0583	0,0653	0,0719	0,0782	0,0845	0,0916	0,1002		
Lectura en B:	0,0730	0,0655	0,0583	0,0515	0,0454	0,0398	0,0347		
Media A y B:	0,0657	0,0654	0,0651	0,0648	0,0649	0,0657	0,0675		
Salida/Entrada:	1,9326	1,9044	1,8740	1,8565	1,8415	1,8226	1,7974		

Tabla 36. Resultados del ensayo VIII

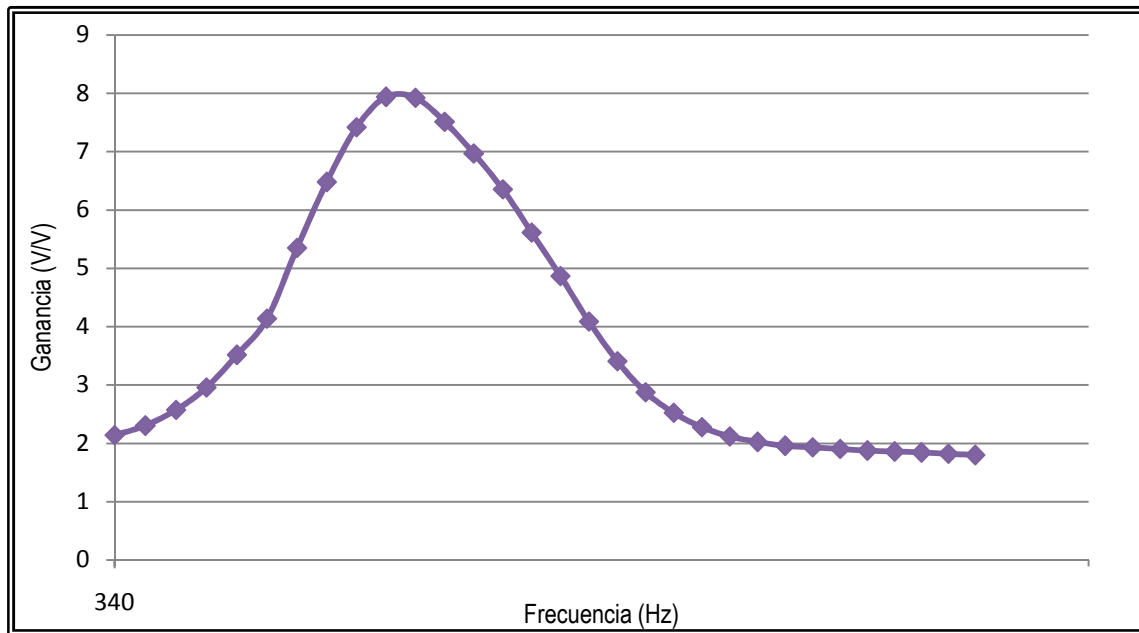


Figura 40. Resultados del ensayo VIII

El comportamiento obtenido en este ensayo responde perfectamente al esperado, ya que se representa perfectamente el pico de ganancia. Este gráfico nos permitirá indicar perfectamente la frecuencia propia de vibración del Air-Box.



10. CONCLUSIONES

En el capítulo anterior se expusieron los diferentes ensayos y tomas de datos a los cuales se ha sometido el Air-Box. Los primeros fueron importantes para asegurar una correcta toma de datos y para corregir errores en ella, como la existencia de frecuencias parásitas, las cuales se han eliminado gracias al uso de filtros. Aunque inicialmente se pensó en la utilidad de conectar los equipos a un filtro físico para evitar que las señales parásitas existiesen, se comprobó que el comportamiento de este filtro no era el esperado, ya que no cumplía con su función. Por este motivo se recurrió al uso de filtros incluidos en el programa de adquisición de datos que dieron un resultado muy bueno.

Finalmente se realizaron los ensayos VI, VII y VIII, que nos proporcionan los resultados finales y válidos del ensayo de búsqueda de frecuencia crítica y a partir de los cuales obtendremos el comportamiento real del Air-Box.

Como se dijo se sustituirán el rango de datos [100 Hz, 1 000 Hz] obtenido en el ensayo VI por el conseguido en el VII, con mayor número de frecuencias leídas y con datos contrastados para evitar errores en los mismos. Igualmente se introducirán los datos obtenidos en el ensayo VIII, que proporcionan el valor nominal de la frecuencia crítica, cumpliendo las tolerancias exigidas por la normativa.

Sin embargo, aún no se puede asegurar que las ganancias obtenidas sean las finales, estas ganancias no se corresponden con la realidad, y la diferencia existente se debe al funcionamiento del acelerómetro.

El acelerómetro utilizado en estos ensayos adquiere los datos de acuerdo con el movimiento de su eje axial, esto tiene como consecuencia que los datos adquiridos en el punto P, y los tomados en los puntos A y B, no pueden compararse directamente, ya que la posición del aparato en estas lecturas no corresponde con un mismo eje. Concretamente, las lecturas de la señal de entrada y la de salida se realizan con 60° de diferencia, es decir, las lecturas tomadas en el punto P corresponden a la proyección del movimiento vertical en un eje con el cual forma un ángulo de 60° . En la figura 40 se representa un croquis de este fenómeno.

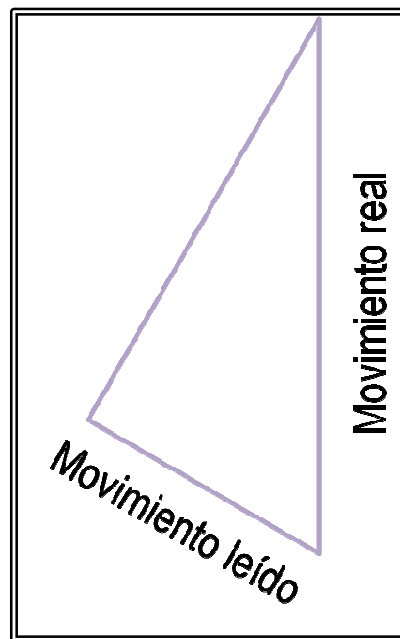


Figura 41. Adquisición de datos en P

Ambos movimientos forman un ángulo α . Según las fórmulas básicas de la trigonometría será necesario dividir la ganancia obtenida entre el coseno del ángulo para obtener la ganancia real del conjunto, esta deducción se representa en la ec. 14.

$$\cos \alpha = \frac{\text{cat. cont}}{\text{hipot}} = \frac{M.\text{leído}}{M.\text{real}} \rightarrow M.\text{real} = \frac{M.\text{leído}}{\cos(60^\circ)} = 2 \cdot M.\text{leído} \quad \text{Ec. 14}$$

Los datos finales que describen el comportamiento del Air-Box sometida a vibración y que servirán para conocer la frecuencia crítica del mismo se presentan en la tabla 37 y la figura 42.



Resultados							
Frecuencias (Hz):	10	11	13	16	18	20	24
Salida/Entrada:	1,1236	1,1032	1,1012	1,1456	1,1478	1,1794	1,2466
Frecuencias (Hz):	27	32	36	42	48	57	64
Salida/Entrada:	1,3494	1,1076	1,2718	0,4362	0,9604	1,0038	1,0026
Frecuencias (Hz):	74	87	100	107	115	124	133
Salida/Entrada:	0,8846	1,1212	0,9312	0,8448	0,6536	1,2222	1,1228
Frecuencias (Hz):	143	154	165	178	191	205	220
Salida/Entrada:	2,6166	4,2486	2,2552	2,3536	1,3494	2,4094	3,9432
Frecuencias (Hz):	237	255	274	294	316	340	341,75
Salida/Entrada:	3,8558	5,6506	3,4778	2,4064	4,4318	4,2800	4,6052
Frecuencias (Hz):	343,5	345,25	347	348,75	350,5	352,25	354
Salida/Entrada:	5,1456	5,9122	7,0298	8,2774	10,7028	12,9552	14,8370
Frecuencias (Hz):	355,75	357,5	359,25	361	362,75	364,5	366,25
Salida/Entrada:	15,8718	15,8428	15,0232	13,9384	12,7078	11,2280	9,7318
Frecuencias (Hz):	368	369,75	371,5	373,25	375	376,75	378,5
Salida/Entrada:	8,1744	6,8178	5,7502	5,0504	4,5564	4,2384	4,0458
Frecuencias (Hz):	380,25	382	383,75	385,5	387,25	389	390,75
Salida/Entrada:	3,9114	3,8652	3,8088	3,7480	3,7130	3,6830	3,6452
Frecuencias (Hz):	392,5	421	453	487	523	562	604
Salida/Entrada:	3,5948	5,1550	1,0588	1,4036	1,7010	3,5054	0,9926
Frecuencias (Hz):	649	698	750	806	866	930	1 000
Salida/Entrada:	0,5880	0,7200	0,5036	0,6046	1,1660	1,3434	0,2874
Frecuencias (Hz):	1 100	1 300	1 600	1 800	2 000		
Salida/Entrada:	0,3888	0,5434	0,0344	0,3362	0,2472		

Tabla 37. Respuesta del Air-Box a la vibración

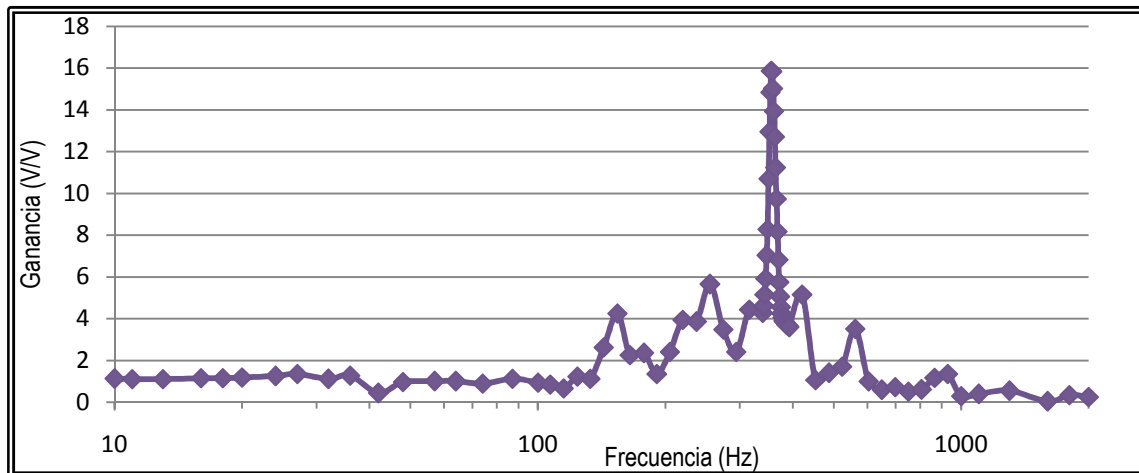


Figura 42. Respuesta del Air-Box a la vibración

Si se observa la figura anterior se descubre un comportamiento que corresponde a simple vista con el esperado, ya que se percibe un importante pico en la ganancia, que llega a superar los 15 V/V. Este punto de máxima ganancia corresponde con los 355,75 Hz, y por esto se considerará esta frecuencia como la propia del Air-Box.

Conocida ya la frecuencia propia de vibración del Air-Box, hemos de asegurar ahora la posibilidad o no de ser alcanzada en condiciones normales de funcionamiento. El Air-Box no forma parte de ningún mecanismo, por lo que a priori no debería verse afectado por el movimiento rotatorio de ninguno de los componentes de la motocicleta a lo que pertenece. Sin embargo, estudiaremos la posibilidad de que debido a fallos en el funcionamiento de alguno de los mecanismos el Air-Box se vea sometido a vibraciones periódicas, mediante el siguiente cálculo obtendremos la velocidad de giro que debería poseer el componente origen del fallo para producir resonancia en el Air-Box.

$$\omega = 355,75 \text{ Hz} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 21\,345 \text{ rpm} \approx 21\,500 \text{ rpm} \quad \text{Ec. 15}$$

Esta velocidad no se considera en el funcionamiento normal de la moto, por lo que no se debería de producir resonancia por esta causa. La otra causa de resonancia que se considera es la relacionada con los neumáticos y las llantas. Cualquier cambio en la forma circular de estos produciría un choque por cada revolución realizada, esta vibración afectaría a todos los componentes de la moto, incluido este Air-Box. A continuación, deduciremos la velocidad de desplazamiento necesaria para alcanzar la resonancia, para ello se tomará como diámetro de la rueda, las 17" de la llanta, consiguiendo así un cálculo del lado de la seguridad.



$$v = \omega \cdot L_c = \omega \cdot \pi \cdot \phi = 355,75 \text{ Hz} \cdot \pi \cdot 17'' \cdot \frac{25 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{1''} = 475 \text{ m/s} \quad \text{Ec. 16}$$

$$475 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 1710 \text{ km/h} \approx 1700 \text{ km/h} \quad \text{Ec. 17}$$

La velocidad de desplazamiento que provocaría la resonancia del Air-Box es muy superior a la que alcanza la moto por lo que ésta no se producirá.

Tras el estudio realizado se puede afirmar que la frecuencia de resonancia del Air-Box tiene un valor lo suficientemente alto como para no entrar en resonancia en condiciones de funcionamiento normales de la moto a la que pertenece.

11. PLANIFICACIÓN

Este capítulo tiene como finalidad realizar un análisis de las diversas actividades necesarias para la realización del proyecto, estableciendo sus interrelaciones, sus restricciones y un orden relativo de ejecución, lógico y racional.

Cálculo de tiempos					
Actividad	Descripción	$t_{optimista}$	$t_{mas probable}$	$t_{pesimista}$	duración
A	Búsqueda de información	11	14	17	14
B	Estudio de la normativa	3	4	5	4
C	Instalación de los equipos	4	5	9	6
D	Diseño y fabricación del utillaje	3	4	5	4
E	Realización de pruebas	9	12	14	12
F	Realización de ensayos	12	17	20	17
G	Redacción del informe	20	27	37	28
Total					84 días
H	Imprevistos	10% del total			8
Total					92 días

Tabla 38. Actividades y duración en días

Para el cálculo de la duración de las distintas actividades que componen este proyecto se ha considerado una jornada de trabajo de 3 horas diarias, considerando laborables 5 días a la



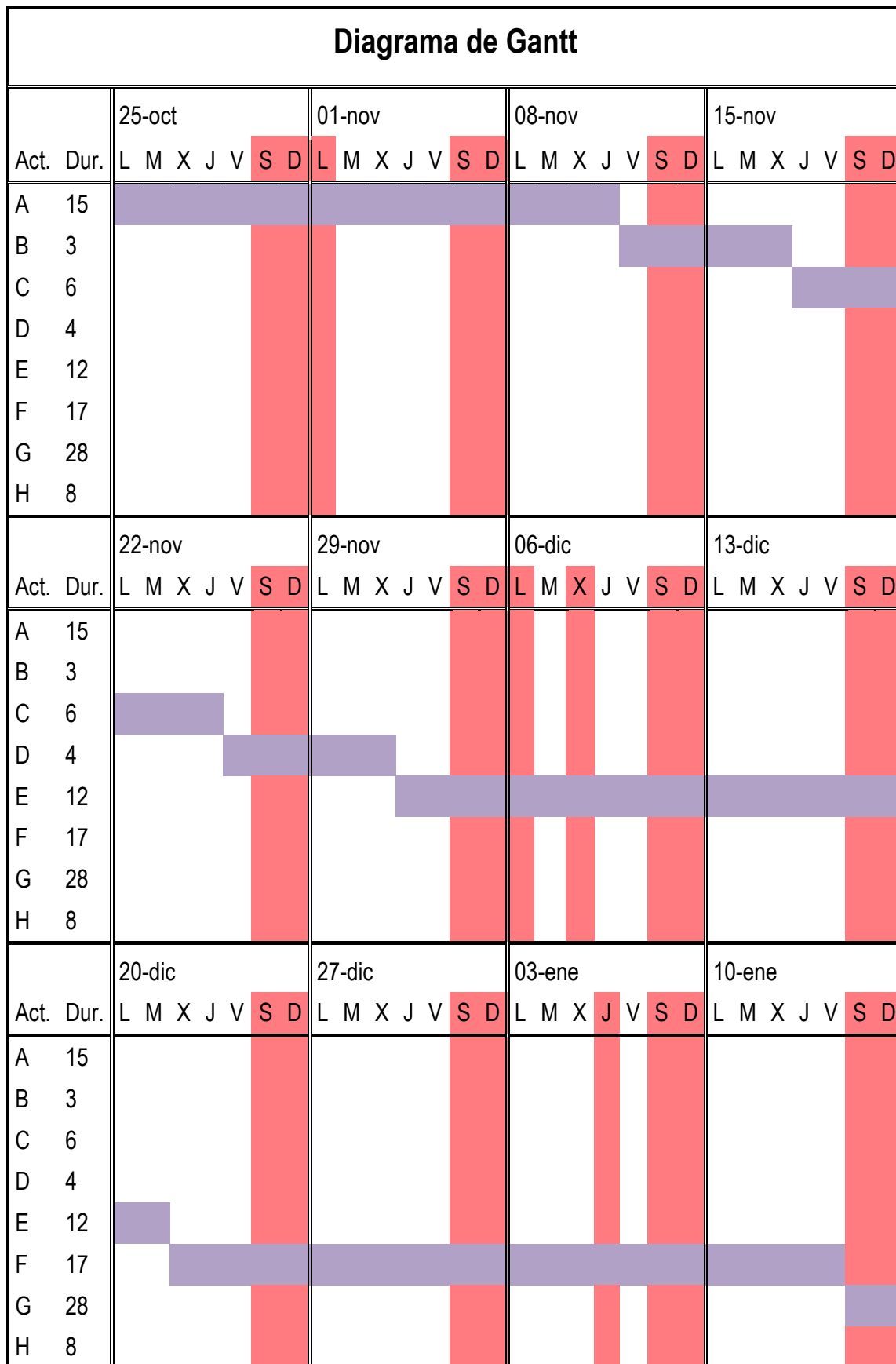
semana. En la tabla 38 se muestra el conjunto de actividades que componen este proyecto así como la duración de las mismas. Para el cálculo del tiempo se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$duración = \frac{t_{optimista} + t_{pesimista} + 4 \cdot t_{masprobable}}{6} \quad \text{Ec. 18}$$

Puesto que todas las actividades serán llevadas a cabo por una misma persona, el proyecto se realiza de forma lineal según la secuencia: A-B-C-D-E-F-G, se incluirá una holgura del 10% del total del proyecto, la finalidad de la misma será prever posibles imprevistos. El proyecto comienza el 25 de octubre de 2010, por lo que las fechas de inicio y fin de cada una de las actividades corresponden con las expuestas en la tabla 39. Así mismo se presenta en la tabla 40 el diagrama de Gantt del proyecto, que ofrece como fecha de finalización más temprana el 23 de febrero de 2010 y como fecha más tardía el 7 de marzo.

Cálculo de tiempos		
Actividad	Fecha de inicio	Fecha de finalización
A	25 octubre	11 noviembre
B	12 noviembre	17 noviembre
C	18 noviembre	25 noviembre
D	26 noviembre	1 diciembre
E	2 diciembre	21 diciembre
F	22 diciembre	14 enero
G	17 enero	23 febrero
H	24 febrero	7 marzo

Tabla 39. Calendario de actividades





Act.	Dur.	17-ene							24-ene							31-ene							07-feb						
		L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
A	15																												
B	3																												
C	6																												
D	4																												
E	12																												
F	17																												
G	28																												
H	8																												
		14-feb							21-feb							28-febrero							7-marzo						
Act.	Dur.	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
A	15																												
B	3																												
C	6																												
D	4																												
E	12																												
F	17																												
G	28																												
H	8																												

Tabla 40. Diagrama de Gantt



12. PRESUPUESTO

Todo proyecto conlleva un coste asociado. Cuando se realiza la planificación del proyecto, llevada a cabo en el capítulo anterior, se consigue obtener unas necesidades materiales y personales cercanas a las reales y de esta forma estimar un coste de realización del proyecto.

Se opta por realizar dos presupuesto, uno de ellos correspondiente al ensayo realizado, y el otro referente a este proyecto, para esto se utilizan las siguientes tablas en las que se exponen los costes asociados a ambos motivos.



Presupuesto de material del ensayo				
Material	Precio (€ o €/año)	Uso (h)	Vida útil(h o h/año)	Coste (€)
Ordenador	749,00	40	9 000	3,33
Cámara de fotos	139,00	0,1	1 000	0,14
Generados de señales	1 349,28	25	6 000	5,62
Mesa vibradora + amplificador + ventilador	5 850,47	25	6 000	24,38
Acelerómetro	5 083,73	25	6 000	21,18
Acondicionador de señal	737,12	25	6 000	3,07
Tarjeta de adquisición de datos	1 449,83	25	6 000	6,04
MATLAB	5 299,99	30	500	318,00
Microsoft Office	499,00	10	1 000	4,99
SolidWorks	4 499,00	6	100	269,94
Total				656,69

Tabla 41. Presupuesto de material del ensayo

Presupuesto de mano de obra del ensayo			
	Trabajo (h)	Precio (€/h)	Coste (€)
Ingeniero Industrial	40	50,00	2 000,00

Tabla 42. Presupuesto de mano de obra del ensayo

Presupuesto final del ensayo	
Materiales	656,69 €
Mano de obra	2 000,00 €
Costes indirectos (15 %)	398,50 €
IVA (18%)	549,93 €
Total	3 605,13 €

Tabla 43. Presupuesto del ensayo



El presupuesto total del ensayo encargado asciende a la cantidad de TRES MIL SEISCIENTOS CINCO EUROS CON TRECE CENTIMOS (3 605,13 €).

Leganés, febrero de 2010

La ingeniera proyectista

Fdo. Carmen Fernández Pastor

Presupuesto de material del proyecto				
Material	Precio (€ o €/año)	Uso (h)	Vida útil(h o h/año)	Coste (€)
Ordenador	749,00	150	9 000	12,48
Cámara de fotos	139,00	1	1 000	0,14
Generados de señales	1 349,28	50	6 000	11,24
Mesa vibradora + amplificador + ventilador	5 850,47	50	6 000	48,75
Acelerómetro	5 083,73	50	6 000	42,36
Acondicionador de señal	737,12	50	6 000	6,14
Tarjeta de adquisición de datos	1 449,83	50	6 000	12,08
MATLAB	5 299,99	60	500	636,00
Microsoft Office	499,00	120	1 000	59,88
SolidWorks	4 499,00	6	100	269,94
Total				1 099,03

Tabla 44. Presupuesto de material del proyecto

Presupuesto de mano de obra del proyecto			
	Trabajo (h)	Precio (€/h)	Coste (€)
Ingeniero Industrial	180	50,00	10 000,00

Tabla 45. Presupuesto de mano de obra del proyecto



Presupuesto final del proyecto	
Materiales	1 099,03 €
Mano de obra	10 000,00 €
Costes indirectos (15 %)	1 664,85 €
IVA (18%)	2 297,50 €
Total	15 061,38 €

Tabla 46. Presupuesto del proyecto

El presupuesto total del proyecto asciende a la cantidad de quince mil sesenta y un euros con treinta y ocho céntimos (15 061,38 €).

Leganés, febrero de 2010

La ingeniera proyectista

Fdo. Carmen Fernández Pastor



13. BIBLIOGRAFÍA

13.1 Libros

[1] FRENCH, A. P., *Vibraciones y ondas*. Barcelona: Editorial Reverté, 1991. ISBN: 978-84-291-4098-9.

[2] KINSLER, L.E., *Fundamentos de acústica*. México D.F.: Editorial Limusa, 1995. ISBN: 978-96-818-2026-8.

[3] SHAMES, I.H., *Mecánica para ingenieros. Dinámica*. Madrid: Prentice Hall, 1999. ISBN: 978-84-832-2045-0.

13.2 Proyectos fin de carrera

[4] Rodríguez Llorente, A. *Estudio del sistema de admisión dinámico de una motocicleta para su aplicación al prototipo HT01*. Proyecto fin de carrera (Ingeniería Técnica Industrial: Mecánica), Universidad Carlos III de Madrid, 2009.

13.3 Normas

[5] International Electrotechnical Commission. *Environmental testing – Part 2-6: Test – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*. International Standard CEI 60068-2-6:2007, Edition 7.0. Wetherby: IEC, 2007. ISBN: 2-8318-9490-5.



13.4 Manuales

[6] *Data Acquisition Toolbox™ User's Guide*. Natick: The MathWorks, Inc., 2010.

[7] *Model 356B40. Installation and Operating Manual*. Nueva York: PCB Piezotronics, Inc., 2002.

13.5 Páginas electrónicas

[8] motomaqlabuc3m.freeiz.com, accedido en noviembre de 2010

[9] www.aenor.es, Accedido en noviembre de 2010

[10] www.agilent.com, Accedido en diciembre de 2010

[11] www.lds-group.com, Accedido en diciembre de 2010

[12] www.ni.com, Accedido en diciembre de 2010

[13] www.pcb.com, Accedido en diciembre de 2010

[14] www.soymotoero.net, Accedido en noviembre de 2010

[15] www.uc3m.es, Accedido de noviembre 2010 a enero de 2011

[16] www.wikipedia.es, Accedido de noviembre 2010 a enero de 2011



Anexo I. Programas

I.1 programa1.m

Este programa realiza una función de comunicación con el usuario, permitiendo a este guardar un archivo con las variables obtenidas e indicar distintos parámetros de la toma de datos.

```
%-----CARACTERÍSTICAS DEL ARCHIVO DE DATOS-----
resp1='k';
while ((resp1~='E')&&(resp1~='N'))
    disp('¿Continuar con un archivo existente o crear uno nuevo?')
    resp1=input('¿E/N? (Existente/Nuevo):','s');
end

if resp1=='N'
    i=0;
    N=0;
else
    N=input('Introduzca nombre del archivo:','s');
    load(N); %Cargamos el archivo de datos
end

%-----TOMA DE DATOS-----
duration=input('Introduzca la duración cada ensayo en segundos:');

resp2='S';
while (resp2=='S')
    i=i+1;
    frec(i)=input('Introducir valor de la frecuencia:');
    v(i)=daq1(duration); %Adquirimos los datos
    resp2='k';
    while ((resp2~='S')&&(resp2~='N'))
        disp('¿Desea incluir un nuevo dato?')
        resp2=input('¿S/N?:','s');
    end
end

%-----GUARDADO DE DATOS-----
resp3='k';
while ((resp3~='S')&&(resp3~='N'))
```



```
disp('¿Desea guardar los cambios en el archivo?')
resp3=input('¿S/N?:','s');
end

if resp3=='S'
    if N==0
        N=input('Introduzca nombre del archivo:','s');
    end
    save (N,'i','frec','v'); %Guardamos el archivo de datos
end
```

I.II *daq1.m*

La función de *daq1.m* no es otra que la adquisición de datos y su análisis para proporcionar el valor medio o máximo obtenido, dependiendo de la versión del programa que se utilice.

```
function [XXX]=daq1(duration)

%-----CREAMOS EL DEVICE OBJECT-----
AI=analoginput('nidaq','dev1'); %AI= Analog Input

%-----AÑADIMOS LOS CANALES-----
AI.InputType='SingleEnded'; %Ground-Reference Setting (Tipo de conexion de los cables)
chan=addchannel(AI,0,'Canal 0'); % Dentro del device objet creamos el "canal 0"

%-----CONFIGURAMOS LAS PROPIEDADES-----
set(AI,'SampleRate', 100000); % Modificamos el valor de SampleRate [Muestras/segundo]
ActualRate = get(AI,'SampleRate'); % A la variable ActualRate le asignamos el valor antes modificado
set(AI,'SamplesPerTrigger', duration*ActualRate); % N° de muestras por trigger= [muestras/segundo]*[segundos]=[muestras]

%-----ADQUIRIMOS LOS DATOS-----
start(AI) %Comenzamos la adquisicion de datos
wait(AI, duration+1) %Esperamos un segundo antes de utilizar los datos obtenidos
[data,time]=getdata(AI); %Extraemos los datos

%-----ANALIZAMOS LOS DATOS-----
absdata=abs(data); %Valor absoluto de data
XXX=max(absdata); %Maximo absdata[1]
```

[1] Para la realización del ensayo II y siguientes, la última línea de código de *daq1.m* será modificada de:

XXX=max(absdata); %Maximo absdata

A:

XXX=mean(absdata); %Media absdata



I.III frecuencias1.m

Este código tiene la finalidad de mostrar las gráficas tanto de los datos leídos respecto del tiempo como de la distribución de frecuencias de estos datos.

```
%-----CREAMOS EL DEVICE OBJECT-----
AI=analoginput('nidaq','dev1'); %AI= Analog Input

%-----AÑADIMOS LOS CANALES-----
AI.InputType='SingleEnded'; %Ground-Reference Setting (Tipo de conexion de los cables)
addchannel(AI,0,'Canal 0'); % Dentro del device objet creamos el "canal 0"

%-----CONFIGURAMOS LAS PROPIEDADES-----
duration=1; %Segundos de adquisicion de datos
set(AI,'SampleRate', 10000); % Modificamos el valor de SampleRate [Muestras/segundo]
ActualRate = get(AI,'SampleRate'); % A la variable ActualRate le asignamos el valor
antes modificado
set(AI,'SamplesPerTrigger', duration*ActualRate); % N° de muestras por trigger=
[muestras/segundo]*[segundos]=[muestras]

%-----ADQUIRIMOS LOS DATOS-----
start(AI) %Comenzamos la adquisicion de datos
wait(AI, duration+1) %Esperamos un segundo antes de utilizar los datos obtenidos

%-----EXTRAEMOS LOS DATOS-----
[data,time]=getdata(AI); %Extraemos los datos
subplot(2,1,1)% varias graficas en la misma ventana [2filas, 1columna, N°1]

plot(time,data) %Dibujamos los datos
grid on %Propiedades de la gráfica
ylabel('Magnitud (V)')
xlabel('Tiempo (s)')
title('Dominio del Tiempo')

%-----REALIZAMOS EL ANALISIS DE FRECUENCIAS-----
Fs=ActualRate;
blocksize= duration*ActualRate;

[f,mag]=daqdocfft(data,Fs,blocksize); %Transformada rápida de Fourier (FFT)
subplot(2,1,2)% varias graficas en la misma ventana [2filas, 1columna, N°2]

[ymax,maxindex]=max(mag); %Frecuencia maxima
maxfreq=f(maxindex);

xfft=abs(fft(data)); %Valor Absoluto de FFT
index=find(xfft==0); % A que frecuencia es 0
xfft(index)=1e-17; % Esquivamos el logaritmo de 0 asignandole un valor muy bajo

mag=20*log10(xfft); %Pasamos a decibelios ya con la seguridad de que no hay ceros
mag=mag(1:floor(blocksize/2)); %Floor--> Valor entero mas proximo a -inf
f=(0:length(mag)-1);
f=f(:);

plot(f,mag)
axis([0 max(maxfreq*2,100) -25 125])% Configuracion de los ejes
grid on %Propiedades de la gráfica
ylabel('Magnitud (dB)')
xlabel('Frecuencia (Hz)')
title('Dominio de la Frecuencia. Analisis Armónico')
```



I.IV *daq2.m*

La función de *daq2.m* es muy similar a la de *daq1.m*, con la diferencia de que en este caso se creará un archivo que contenga la totalidad de los datos adquiridos, así como otras características importantes de la toma de datos para el posterior tratamiento de los mismos.

```
%-----CREAMOS EL DEVICE OBJECT-----
AI=analoginput('nidaq','dev1'); %AI= Analog Input

%-----AÑADIMOS LOS CANALES-----
AI.InputType='SingleEnded'; %Ground-Reference Setting (Tipo de conexion de los cables)
chan=addchannel(AI,0,'Canal 0'); % Dentro del device objet creamos el "canal 0"

%-----CONFIGURAMOS LAS PROPIEDADES-----
duration=1; %Segundos de adquisicion de datos
set(AI,'SampleRate', 100000); % Modificamos el valor de SampleRate [Muestras/segundo]
ActualRate = get(AI,'SampleRate'); % A la variable ActualRate le asignamos el valor
antes modificado
set(AI,'SamplesPerTrigger', duration*ActualRate); % N° de muestras por trigger=
[muestras/segundo]*[segundos]=[muestras]

%-----ADQUIRIMOS LOS DATOS-----
frec=input('Introducir valor de la frecuencia:');
start(AI) %Comenzamos la adquisicion de datos
wait(AI, duration+1) %Esperamos un segundo antes de utilizar los datos obtenidos
[data,time]=getdata(AI); %Extraemos los datos

%-----CREAMOS UN ARCHIVO CON LOS DATOS-----
N= int2str(frec);
save (N,'frec','data','duration','ActualRate');
```

I.V *filtro1.m*

Este script se escribe con la finalidad de comparar la actuación de los distintos filtros preseleccionados para mejorar la señal adquirida. Permite comparar fácilmente los resultados obtenidos por cada filtro agrupando las respuestas en función a distintas características.

```
%-----CARGAMOS EL ARCHIVO CON LOS DATOS-----
N=input('Introduzca nombre del archivo:','s');
load (N);
Fs=ActualRate;
blocksize= duration*ActualRate;

%-----ELEGIMOS EL FILTRO A ESTUDIAR-----
disp('MENU');
disp('1-Filtro Butterworth. Orden 1');
disp('2-Filtro Butterworth. Orden 2');
disp('3-Filtro Chebyshev. Orden 1');
disp('4-Filtro Chebyshev. Orden 2');
disp('5-Filtro paso-banda');
disp('6-Filtro elimina-banda');
disp('7-Filtro paso-banda + elimina-banda');
opeleg=input('?Que filtro desea aplicar?');
```

```
%-----MARCAMOS LOS FILTRADOS SEGUN LA ELECCION-----
opciones(1:18)=0;
switch opeleg
    case 1,
        opciones(1:3)=1;
    case 2,
        opciones(4:6)=1;
    case 3,
        opciones(7:9)=1;
    case 4,
        opciones(10:12)=1;
    case 5,
        opciones(1)=1;
        opciones(4)=1;
        opciones(7)=1;
        opciones(10)=1;
    case 6,
        opciones(2)=1;
        opciones(5)=1;
        opciones(8)=1;
        opciones(11)=1;
    case 7,
        opciones(3)=1;
        opciones(6)=1;
        opciones(9)=1;
        opciones(12)=1;
end

%-----FILTRAMOS LOS DATOS-----
if opciones(1)==1
    [B,A]=butter(1,[(frec-9)*2/Fs (frec+9)*2/Fs],'bandpass');
    filtrado(:,1)= filter(B,A,data);
    Titulo(:,1)=( 'F. Butterworth. Orden 1. Paso-banda ');
end
if (opciones(2)==1 || opciones(3)==1)
    [B,A]=butter(1,[41*2/Fs 59*2/Fs],'stop');
    filtrado(:,2)= filter(B,A,data);
    Titulo(:,2)=( 'F. Butterworth. Orden 1. Elimina-banda ');
end
if opciones(3)==1
    [B,A]=butter(1,[(frec-9)*2/Fs (frec+9)*2/Fs],'bandpass');
    filtrado(:,3)= filter(B,A,filtrado(:,2));
    Titulo(:,3)=( 'F. Butterworth. Orden 1. Paso-banda + elimina-banda ');
end
if opciones(4)==1
    [B,A]=butter(2,[(frec-9)*2/Fs (frec+9)*2/Fs],'bandpass');
    filtrado(:,4)= filter(B,A,data);
    Titulo(:,4)=( 'F. Butterworth. Orden 2. Paso-banda ');
end
if (opciones(5)==1 || opciones(6)==1)
    [B,A]=butter(2,[41*2/Fs 59*2/Fs],'stop');
    filtrado(:,5) = filter(B,A,data);
    Titulo(:,5)=( 'F. Butterworth. Orden 2. Elimina-banda ');
end
if opciones(6)==1
    [B,A]=butter(2,[(frec-9)*2/Fs (frec+9)*2/Fs],'bandpass');
    filtrado(:,6)= filter(B,A,filtrado(:,5));
    Titulo(:,6)=( 'F. Butterworth. Orden 2. Paso-banda + elimina-banda ');
end
if opciones(7)==1
    [B,A]=cheby1(1,0.5,[(frec-9)*2/Fs (frec+9)*2/Fs],'bandpass');
    filtrado(:,7)= filter(B,A,data);
    Titulo(:,7)=( 'F. Chebyshev. Orden 1. Paso-banda ');
end
if (opciones(8)==1 || opciones(9)==1)
    [B,A]=cheby1(1,0.5,[41*2/Fs 59*2/Fs],'stop');
    filtrado(:,8)= filter(B,A,data);
    Titulo(:,8)=( 'F. Chebyshev. Orden 1. Elimina-banda ');
end
if opciones(9)==1
    [B,A]=cheby1(1,0.5,[(frec-9)*2/Fs (frec+9)*2/Fs],'bandpass');
    filtrado(:,9)= filter(B,A,filtrado(:,8));
```



```
Titulo(:,9)=('F. Chebyshev. Orden 1. Paso-banda + elimina-banda ');
end
if opciones(10)==1
    [B,A]=cheby1(2,0.5,[(frec-9)*2/Fs (frec+9)*2/Fs],'bandpass');
    filtrado(:,10)= filter(B,A,data);
    Titulo(:,10)=('F. Chebyshev. Orden 2. Paso-banda ');
end
if (opciones(11)==1||opciones(12)==1)
    [B,A]=cheby1(2,0.5,[41*2/Fs 59*2/Fs],'stop');
    filtrado(:,11)= filter(B,A,data);
    Titulo(:,11)=('F. Chebyshev. Orden 2. Elimina-banda ');
end
if opciones(12)==1
    [B,A]=cheby1(2,0.5,[(frec-9)*2/Fs (frec+9)*2/Fs],'bandpass');
    filtrado(:,12)= filter(B,A,filtrado(:,11));
    Titulo(:,12)=('F. Chebyshev. Orden 2. Paso-banda + elimina-banda ');
end

%-----MARCAMOS LAS CARACTERISTICAS DE LA REPRESENTACION-----
if opeleg<=4
    j=2;
    k=2;
    z=1;
else
    j=3;
    k=2;
    y=3;
end

%-----ANALIZAMOS LOS DATOS FILTRADOS-----
for i=0:1:18
    if i==0
        filtrar=1;
    else
        if opciones(i)==1
            data=filtrado(:,i);
            filtrar=1;
        end
    end
    if filtrar==1
        [f,mag]=daqdocfft(data,Fs,blocksize); %Transformada rápida de Fourier (FFT)
        [ymax,maxindex]=max(mag); %Frecuencia maxima
        maxfreq=f(maxindex);
        xfft=abs(fft(data)); %Valor Absoluto de FFT
        index=find(xfft==0); % A que frecuencia es 0
        xfft(index)=1e-17; % Esquivamos el logaritmo de 0 asignandole un valor muy bajo
        mag=20*log10(xfft); %Pasamos a decibelios ya con la seguridad de que no hay ceros
        mag=mag(1:floor(blocksize/2)); %Floor--> Valor entero mas proximo a -inf
        f=(0:length(mag)-1);
        f=f(:);
    end
    if filtrar==1
        if opeleg<=4
            subplot(j,k,z)
            z=z+1;
        else
            if i==0
                subplot(j,1,1)
            else
                subplot(j,k,y)
                y=y+1;
            end
        end
        plot(f,mag)
        axis([0 max(maxfreq*2,100) -25 50])% Configuración de los ejes
        grid on %Propiedades de la gráfica
        ylabel('Magnitud (dB)')
        xlabel('Frecuencia (Hz)')
        if i==0
            title('Señal original')
        else
            title(Titulo(:,i))
        end
    end
end
```



```

        end
    end
    filtrar=0;
end

```

I.VI pruebasR.m

Estas líneas de código pretenden representar las variaciones de las respuestas del filtro elegido en función del parámetro R para elegir el valor de este que se utilizara en ensayos sucesivos.

```

%-----CARGAMOS EL ARCHIVO CON LOS DATOS-----
N=input('Introduzca nombre del archivo:', 's');
load (N);
Fs=ActualRate;
blocksize= duration*ActualRate;

%-----FILTRAMOS LOS DATOS Y REPRESENTAMOS-----
for i=0:0.5:4 % Analizamos las respuestas mediante iteraciones
    if i~=0 % Filtrado de las señales
        [B,A]=cheby1(2,i,[41*2/Fs 59*2/Fs], 'stop');
        filtradol=filter(B,A,data);
        [B,A]=cheby1(2,i,[(frec-9)*2/Fs (frec+9)*2/Fs], 'bandpass');
        rep=filter(B,A,filtradol);
        j=num2str(i);
        Titulo=(['R=' j]);
    Else %Señal sin filtrar
        rep=data;
        Titulo=(['Señal sin filtrar']);
    end
    [f,mag]=daquadocfft(rep,Fs,blocksize); %Transformada rápida de Fourier (FFT)
    [ymax,maxindex]=max(mag); %Frecuencia maxima
    maxfreq=f(maxindex);
    xfft=abs(fft(rep)); %Valor Absoluto de FFT
    index=find(xfft==0); % A que frecuencia es 0
    xfft(index)=1e-17; % Esquivamos el logaritmo de 0 asignandole un valor muy bajo
    mag=20*log10(xfft); %Pasamos a decibelios ya con la seguridad de que no hay ceros
    mag=mag(1:floor(blocksize/2)); %Floor--> Valor entero mas proximo a -inf
    f=(0:length(mag)-1);
    f=f(:);
    subplot(3,3,1+2*i) % Dibujamos las graficas de resultados
    plot(f,mag)
    axis([0 max(maxfreq*2,100) -25 50])% Configuracion de los ejes
    grid on %Propiedades de la gráfica
    ylabel('Magnitud (dB)')
    xlabel('Frecuencia (Hz)')
    title(Titulo)
end

```

I.VII programa2.m

Este script, es una modificación de programa1.m, y realiza la misma una función de comunicación con el usuario, permitiendo a este guardar un archivo con las variables obtenidas e indicar distintos parámetros de la toma de datos.

```

%-----CARACTERÍSTICAS DEL ARCHIVO DE DATOS-----
respl='k';

```



```
while ((resp1~='E')&&(resp1~='N'))
    disp('¿Continuar con un archivo existente o crear uno nuevo?')
    resp1=input('¿E/N? (Existente/Nuevo):','s');
end

if resp1=='N'
    i=0;
    N=0;
else
    N=input('Introduzca nombre del archivo:','s');
    load (N);
end

%-----TOMA DE DATOS-----
duration=input('Introduzca la duración cada ensayo en segundos:');

resp2='S';
while (resp2=='S')
    i=i+1;
    frec(i)=input('Introducir valor de la frecuencia:');
    [A_sinf(i),A_filt(i)]=daqf(duration,frec(i));%Adquirimos los datos
    resp2='k';
    while ((resp2~='S')&&(resp2~='N'))
        disp('¿Desea incluir un nuevo dato?')
        resp2=input('¿S/N?:','s');
    end
end

%-----GUARDADO DE DATOS-----
resp3='k';
while ((resp3~='S')&&(resp3~='N'))
    disp('¿Desea guardar los cambios en el archivo?')
    resp3=input('¿S/N?:','s');
end

if resp3=='S'
    if N==0
        N=input('Introduzca nombre del archivo:','s');
    end
    save (N,'i','frec','A_sinf','A_filt');%Guardamos el archivo de datos
end
```

I.VIII daqf.m

La función de daqf.m no es otra que la adquisición de datos y su análisis, tal como hacia daq1.m. La principal diferencia es que este nuevo script incorpora el filtrado de los datos adquiridos, proporcionando como salida tanto los resultados de la señal filtrada como de la original.

```
function [XXX YYY]=daqf(duration,frec)

%-----CREAMOS EL DEVICE OBJECT-----
AI=analoginput('nidaq','dev1'); %AI= Analog Input

%-----AÑADIMOS LOS CANALES-----
AI.InputType='SingleEnded'; %Ground-Reference Setting (Tipo de conexion de los cables)
chan=addchannel(AI,0,'Canal 0'); % Dentro del device objet creamos el "canal 0"

%-----CONFIGURAMOS LAS PROPIEDADES-----
set(AI,'SampleRate', 10000); % Modificamos el valor de SampleRate [Muestras/segundo]
```



```
ActualRate = get(AI,'SampleRate'); % A la variable ActualRate le asignamos el valor
antes modificado
set(AI,'SamplesPerTrigger', duration*ActualRate); % N° de muestras por trigger=
[muestras/segundo]*[segundos]=[muestras]
Fs=ActualRate;

%-----ADQUIRIMOS LOS DATOS-----
start(AI) %Comenzamos la adquisicion de datos
wait(AI, duration+1) %Esperamos un segundo antes de utilizar los datos obtenidos
[data,time]=getdata(AI); %Extraemos los datos

%-----ANALIZAMOS LOS DATOS-----
absdata=abs(data); %Valor absoluto de data
XXX=mean(absdata); %Media aritmética de absdata

%-----FILTRAMOS LA SEÑAL-----
[B,A]=cheby1(2,0.5,[41*2/Fs 59*2/Fs],'stop');
dataA = filter(B,A,data);
[B,A]=cheby1(2,0.5,[(frec-9)*2/Fs (frec+9)*2/Fs],'bandpass');
data2 = filter(B,A,dataA);

%-----ANALIZAMOS LOS DATOS FILTRADOS-----
absdata2=abs(data2); %Valor absoluto de data
YYY=mean(absdata2); %Media aritmética de absdata
```


Anexo II. Datos adquiridos

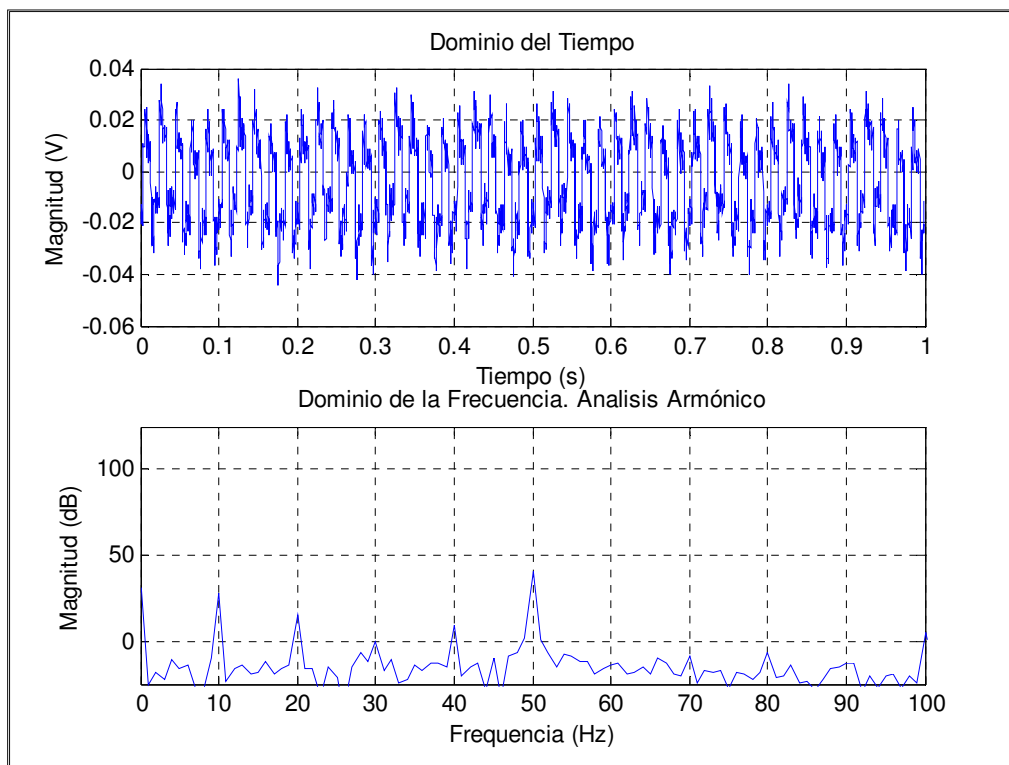


Figura 43. Señal de 10 Hz

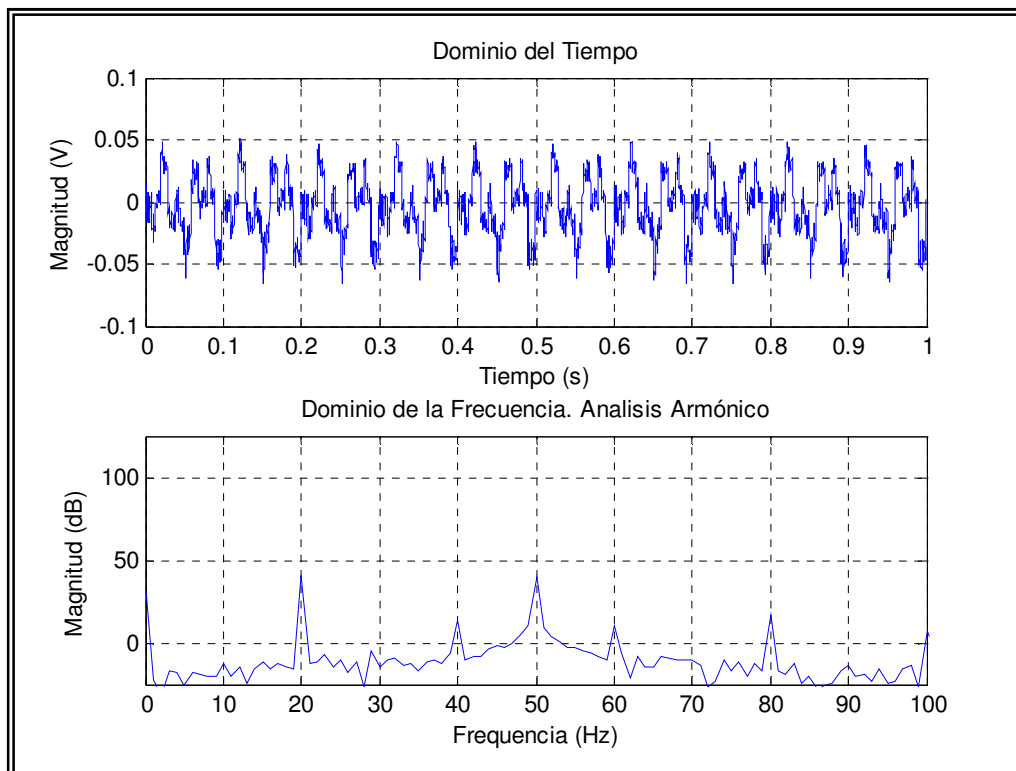


Figura 44. Señal de 20 Hz

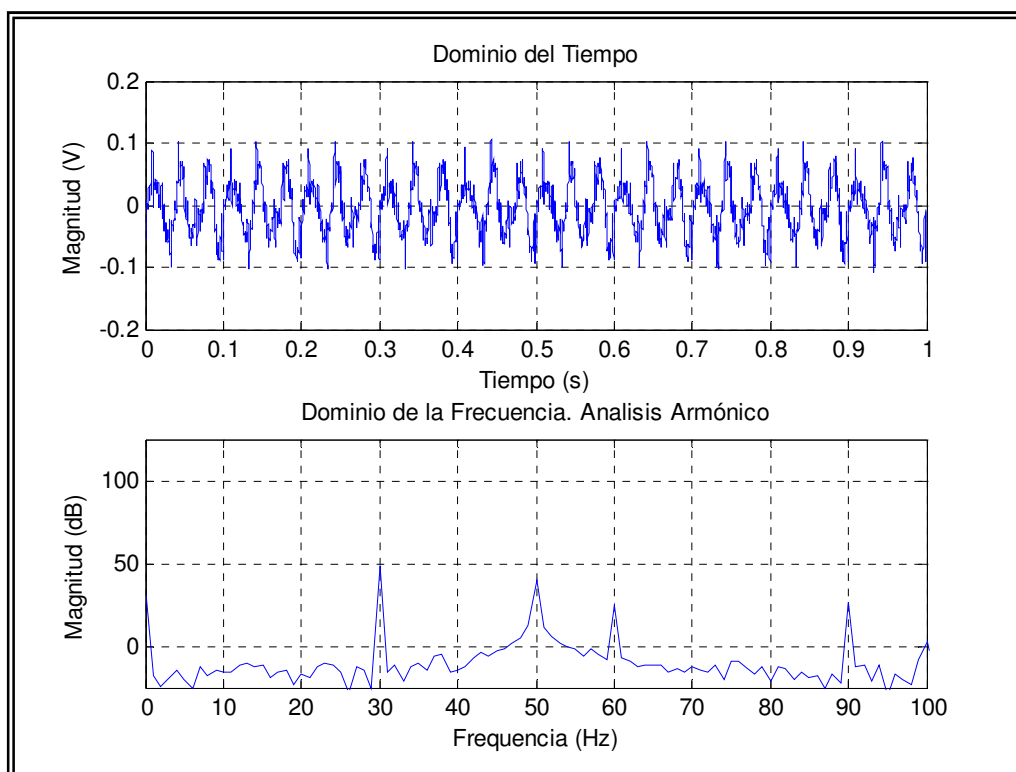


Figura 45. Señal de 30 Hz

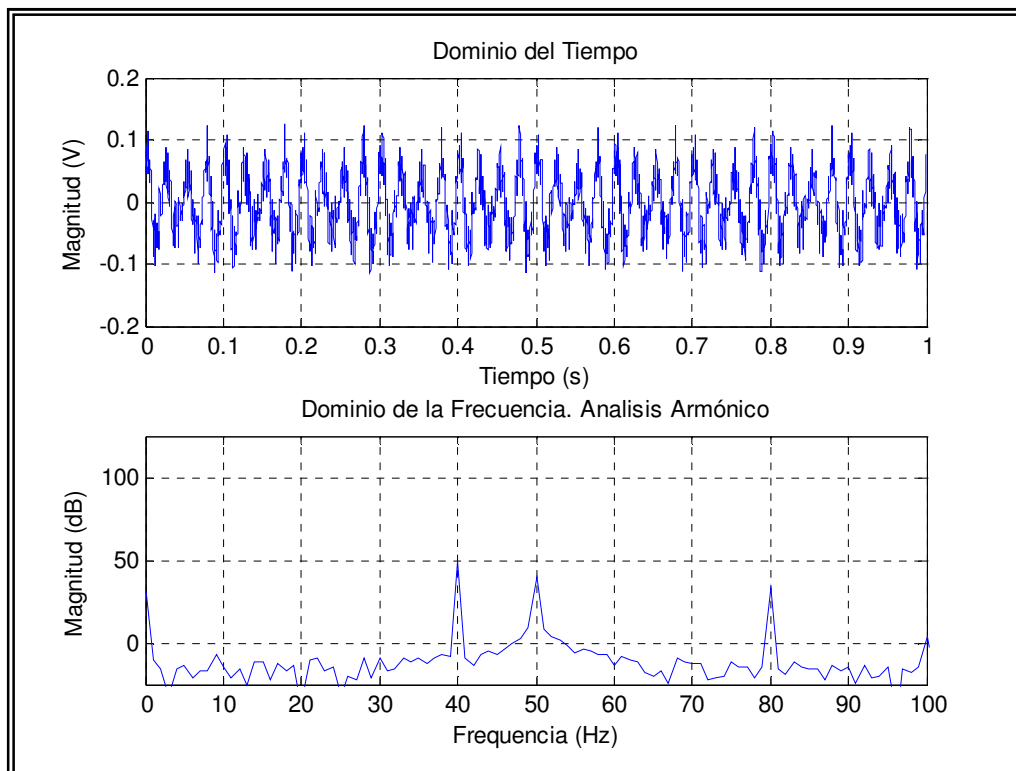


Figura 46. Señal de 40 Hz

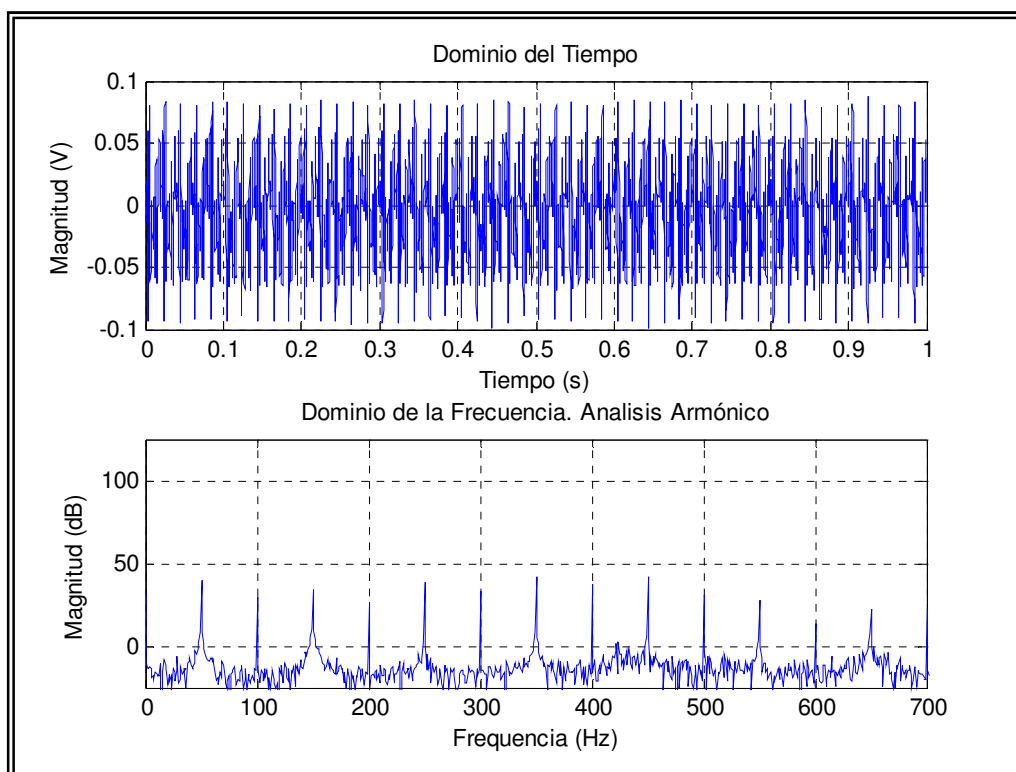


Figura 47. Señal de 50 Hz

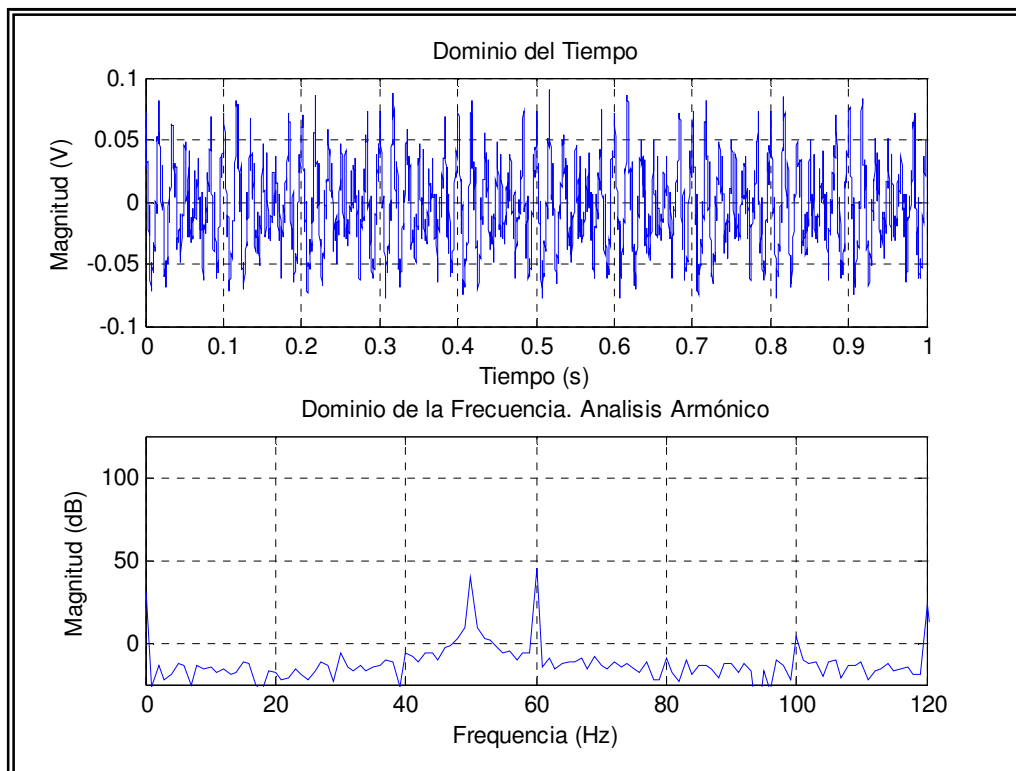


Figura 48. Señal de 60 Hz

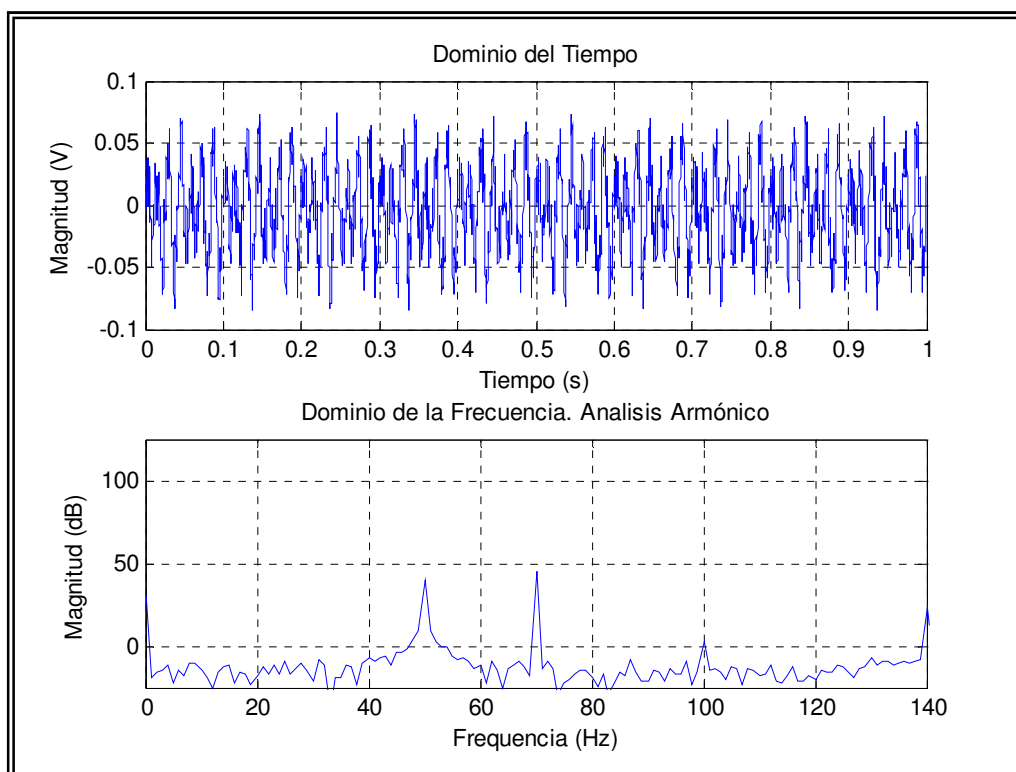


Figura 49. Señal de 70 Hz

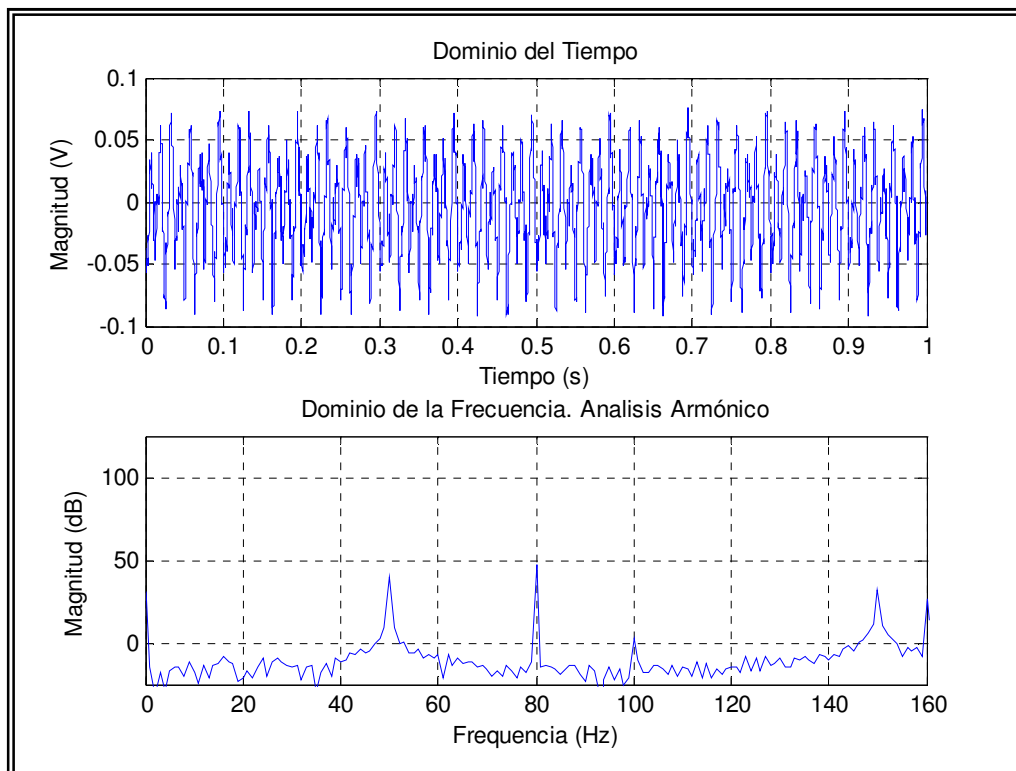


Figura 50. Señal de 80 Hz

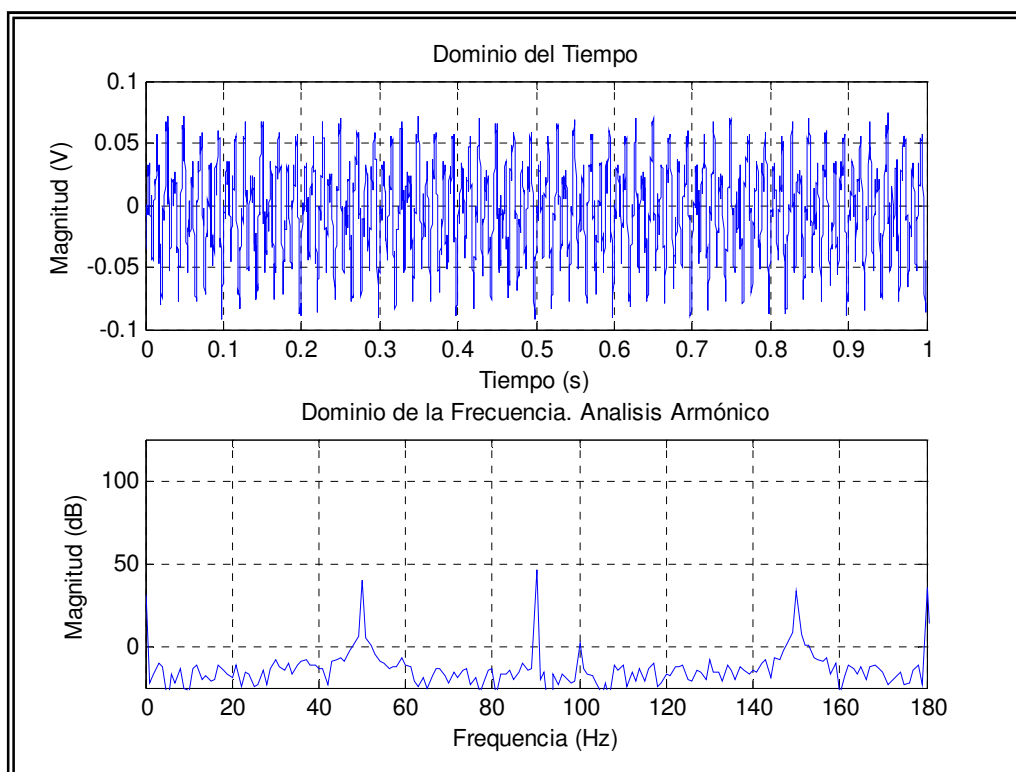


Figura 51. Señal de 90 Hz

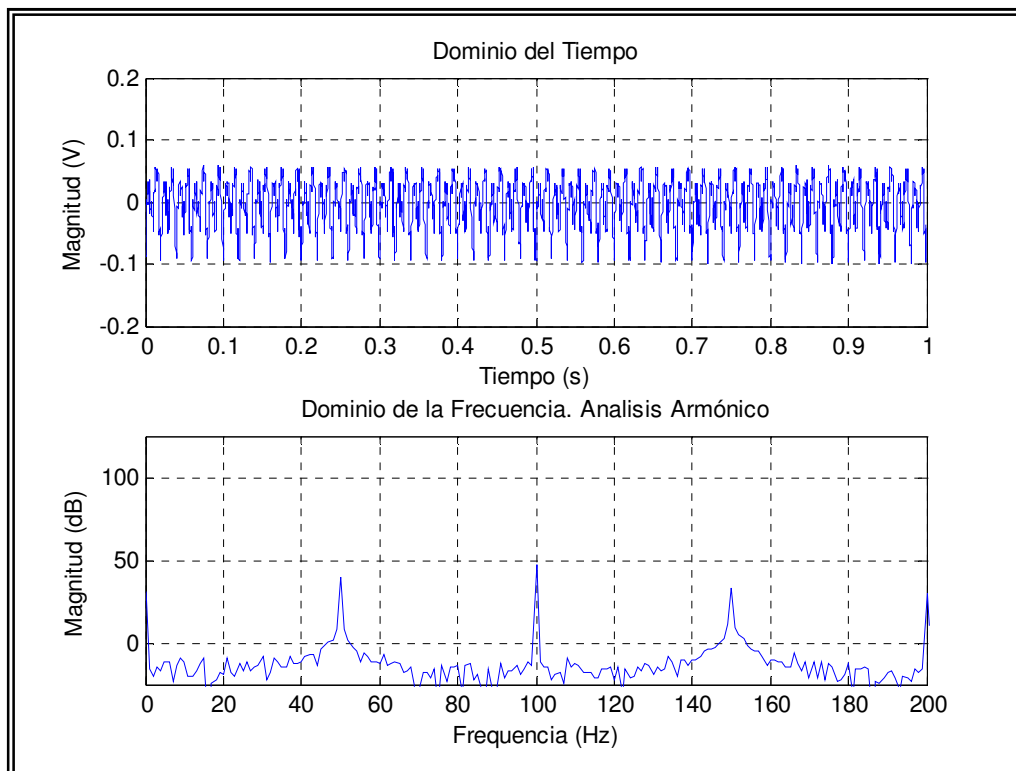


Figura 52. Señal de 100 Hz

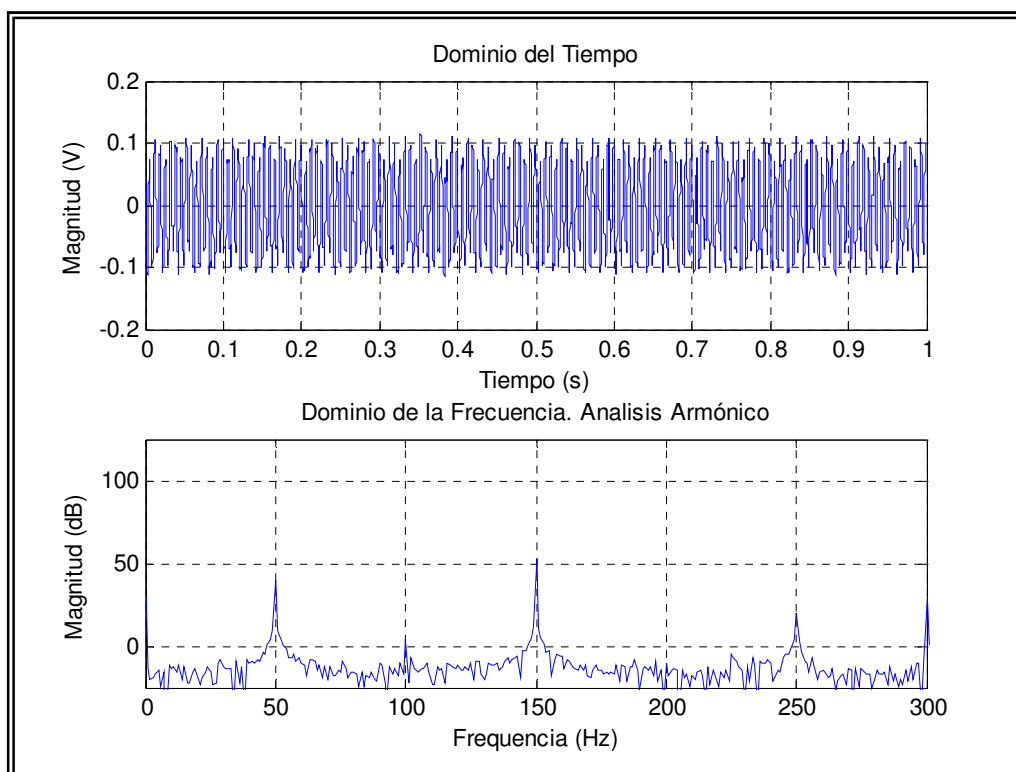


Figura 53. Señal de 150 Hz

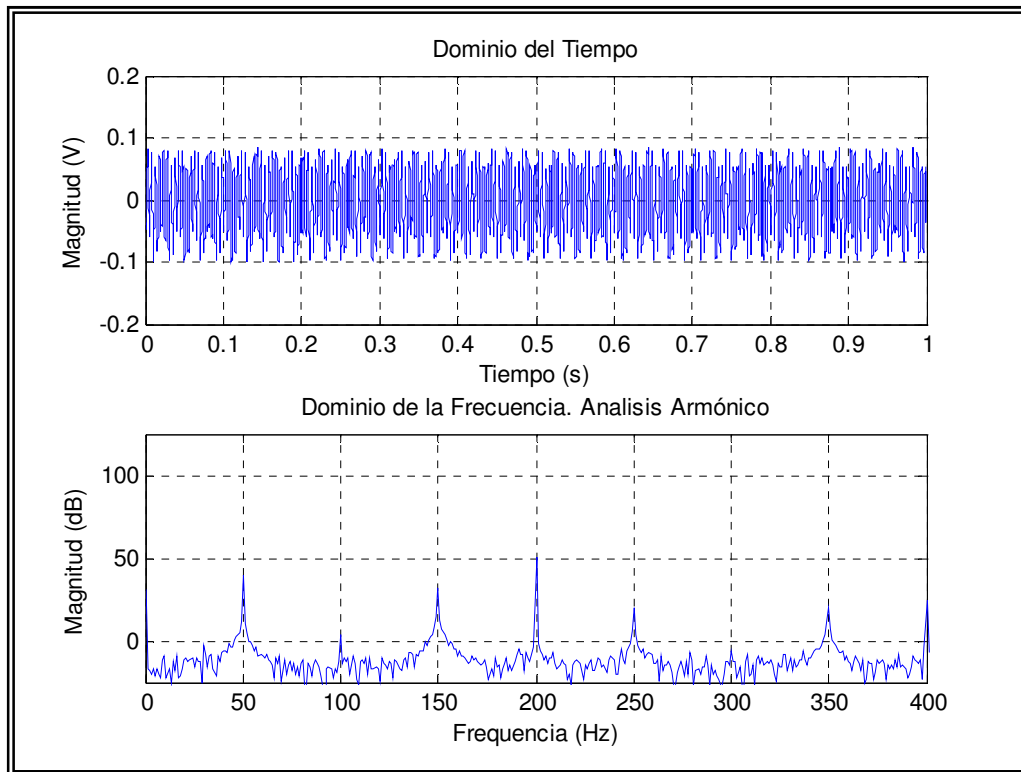


Figura 54. Señal de 200 Hz

Anexo III. Resultados del filtrado

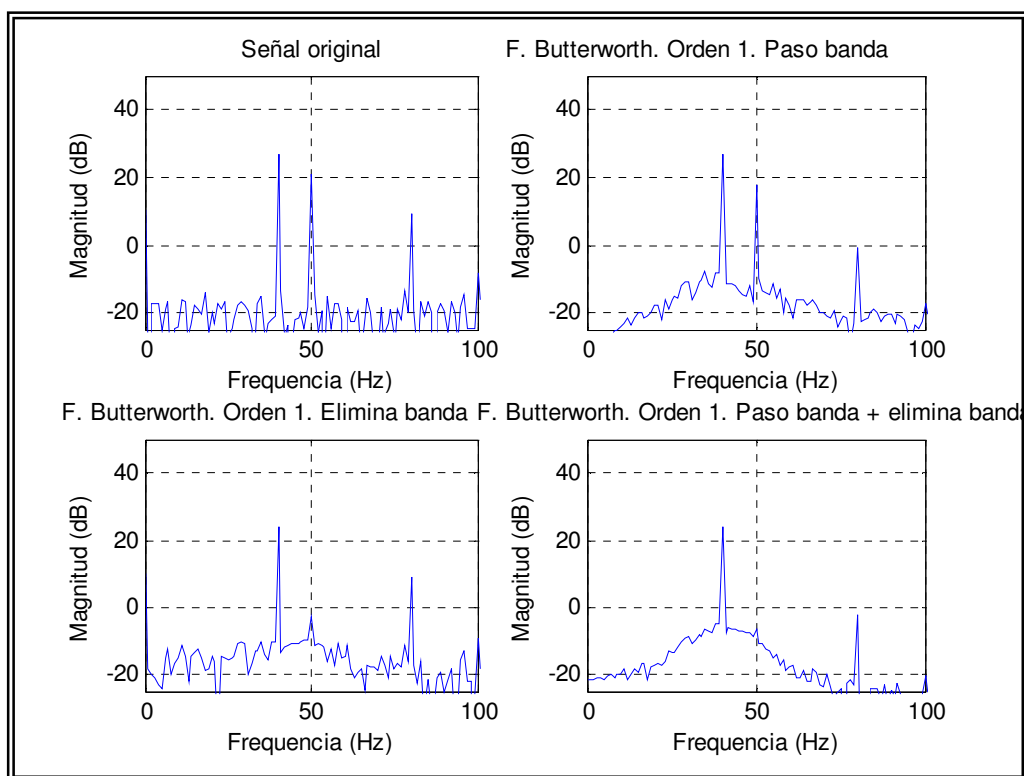


Figura 55. Filtrado Butterworth de 1^{er} orden. Señal de 40 Hz

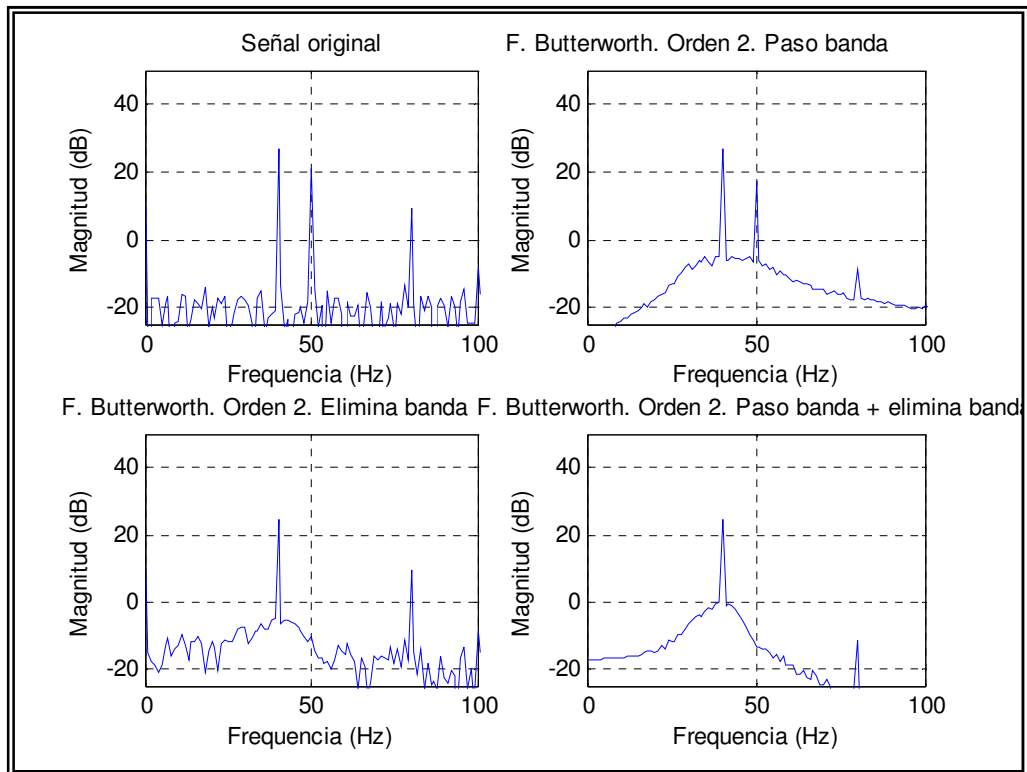


Figura 56. Filtrado Butterworth de 2º orden. Señal de 40 Hz

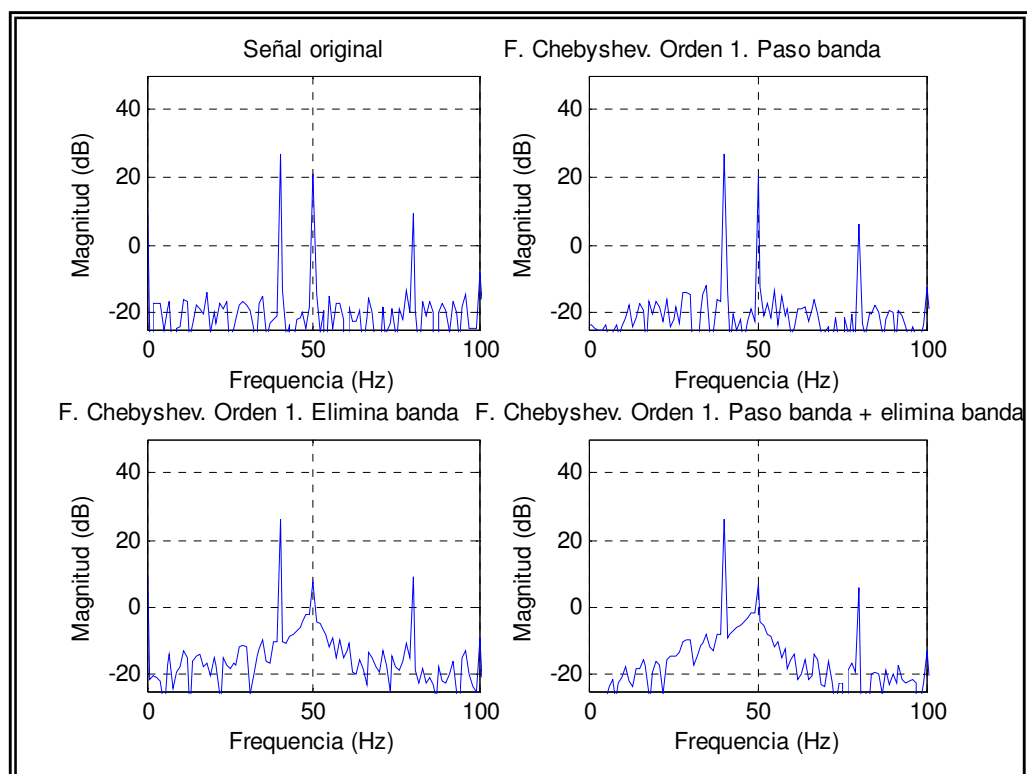


Figura 57. Filtrado chebyshev de 1º orden. Señal de 40 Hz

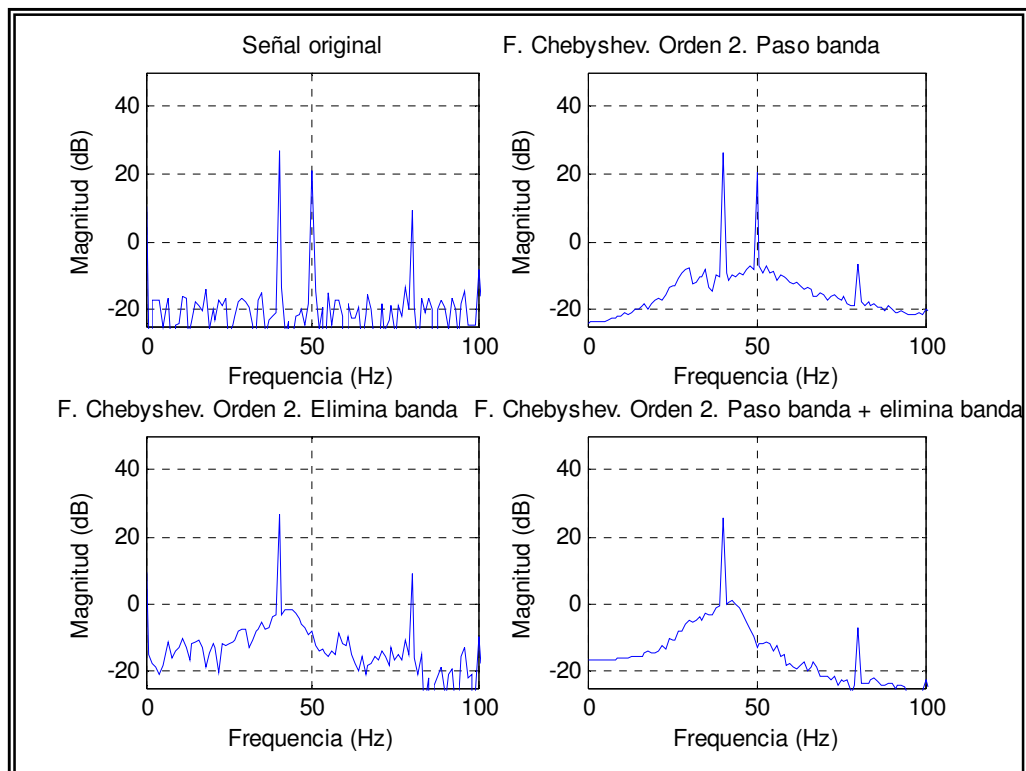
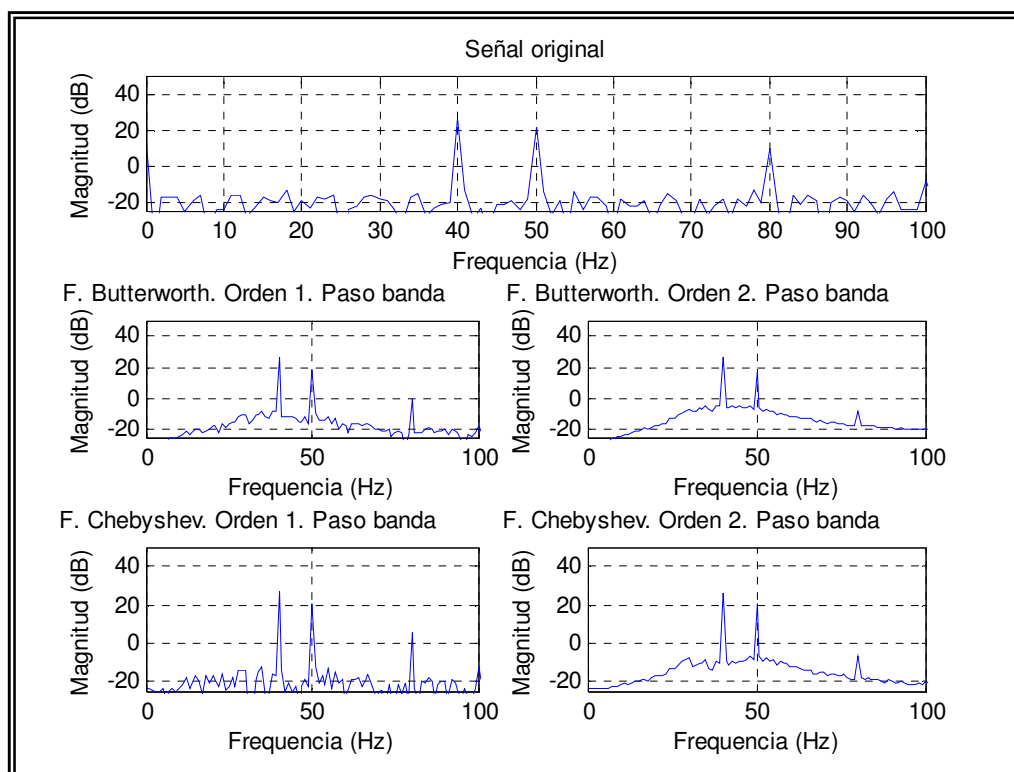

Figura 58. Filtrado chebyshev de 2^{er} orden. Señal de 40 Hz


Figura 59. Filtrado paso-banda. Señal de 40 Hz

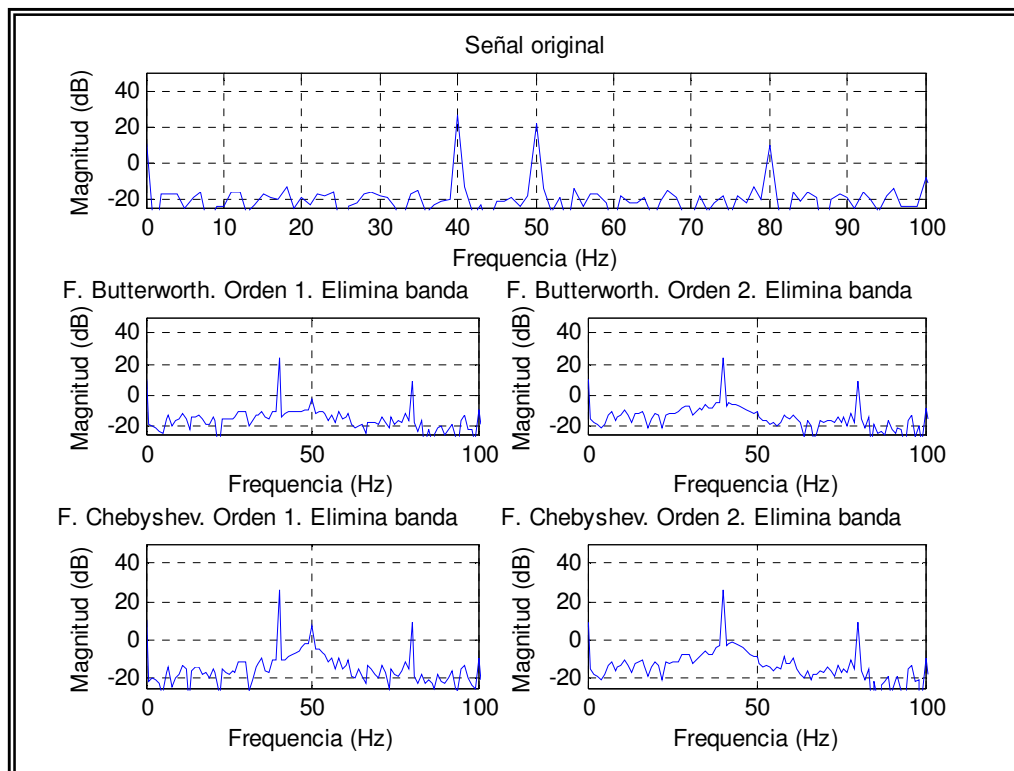


Figura 60. Filtrado elimina-banda. Señal de 40 Hz

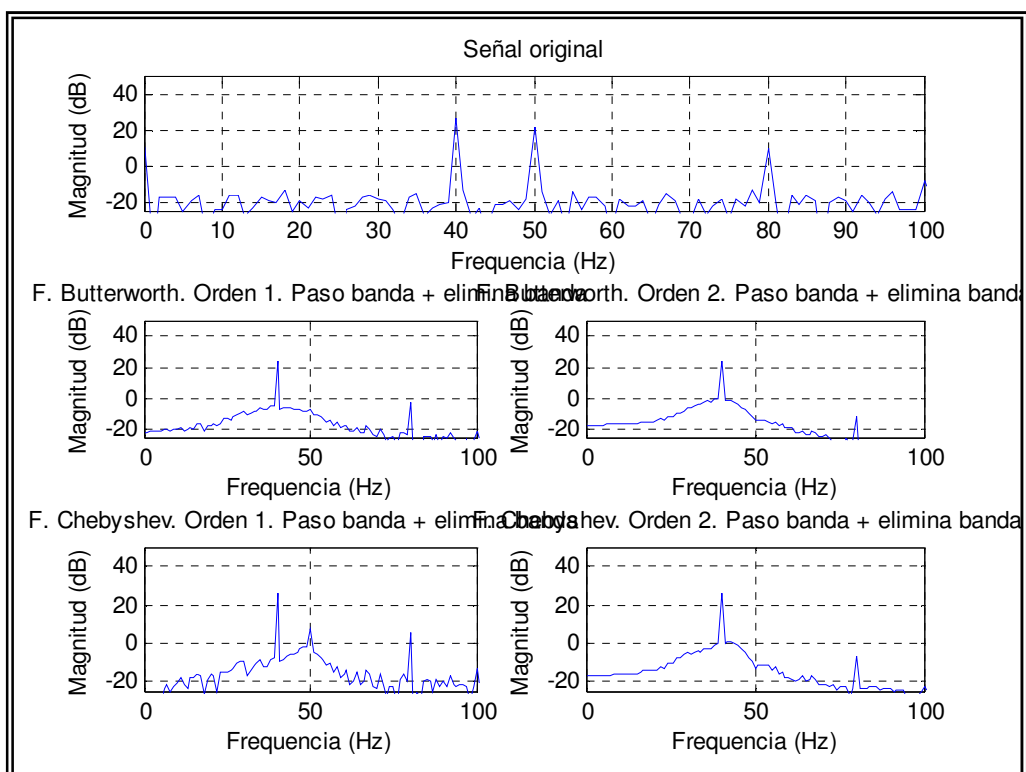


Figura 61. Filtrado paso-banda + elimina-banda. Señal de 40 Hz

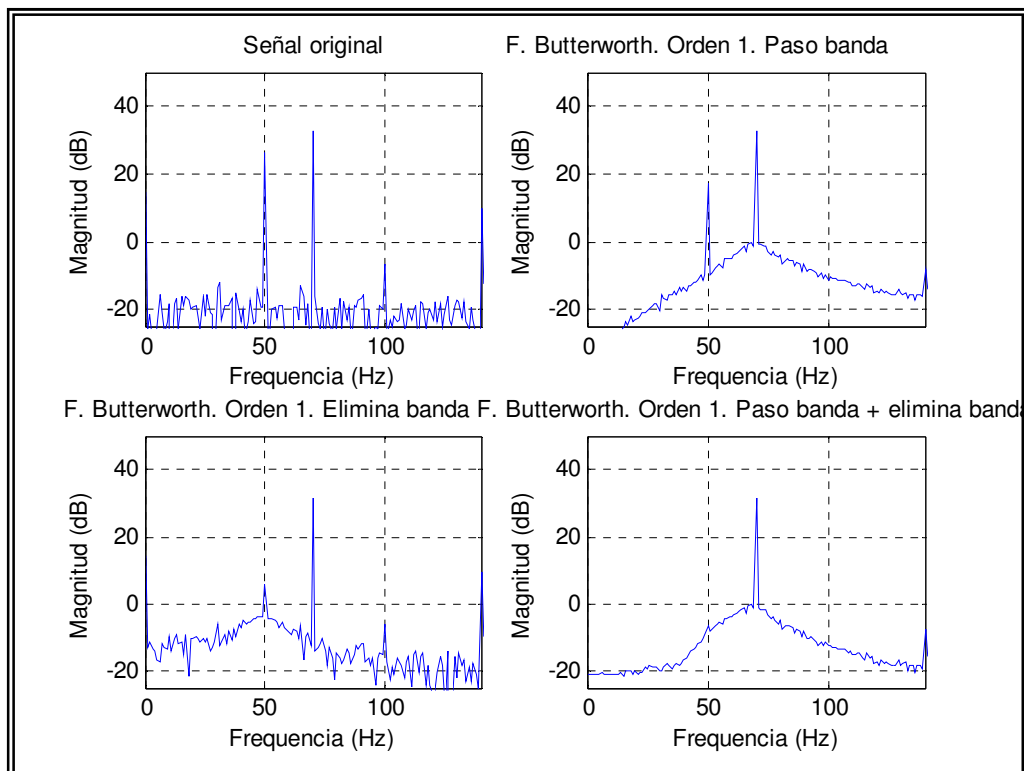


Figura 62. Filtrado Butterworth de 1^{er} orden. Señal de 70 Hz

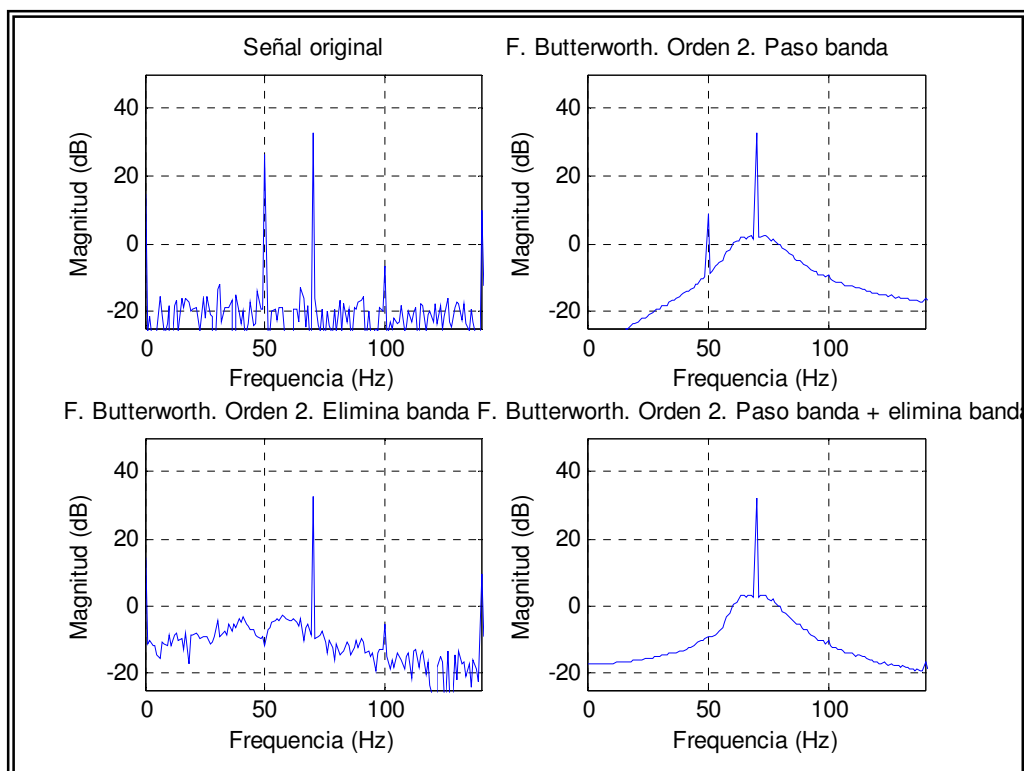


Figura 63. Filtrado Butterworth de 2^o orden. Señal de 70 Hz

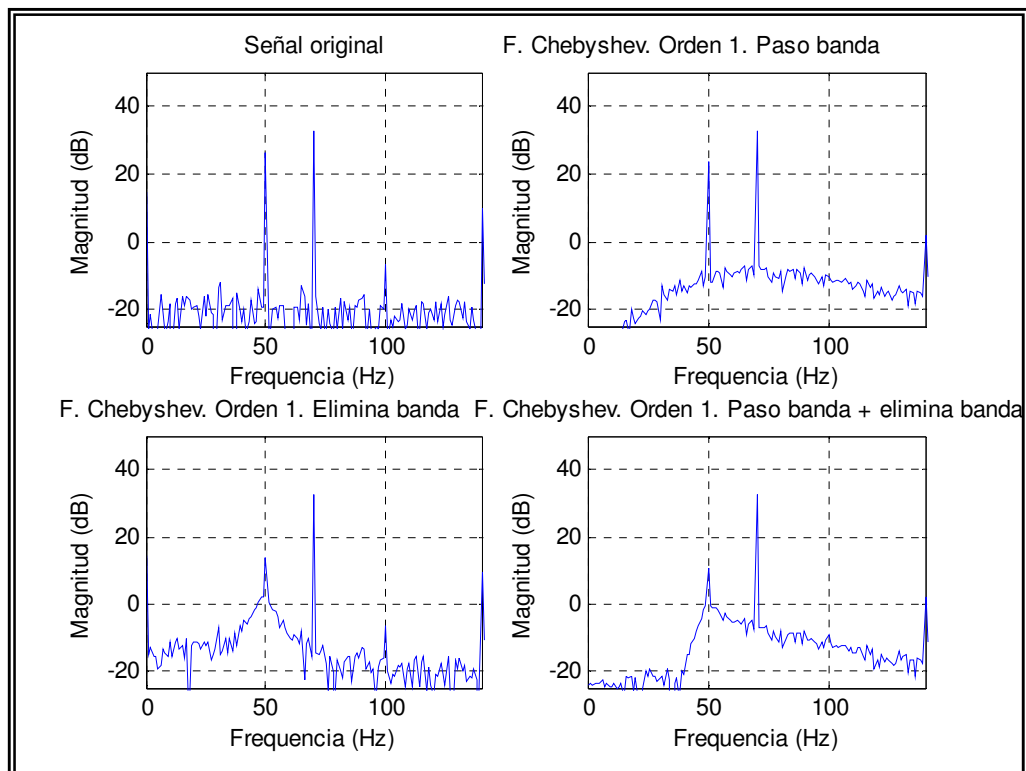


Figura 64. Filtrado Chebyshev de 1^{er} orden. Señal de 70 Hz

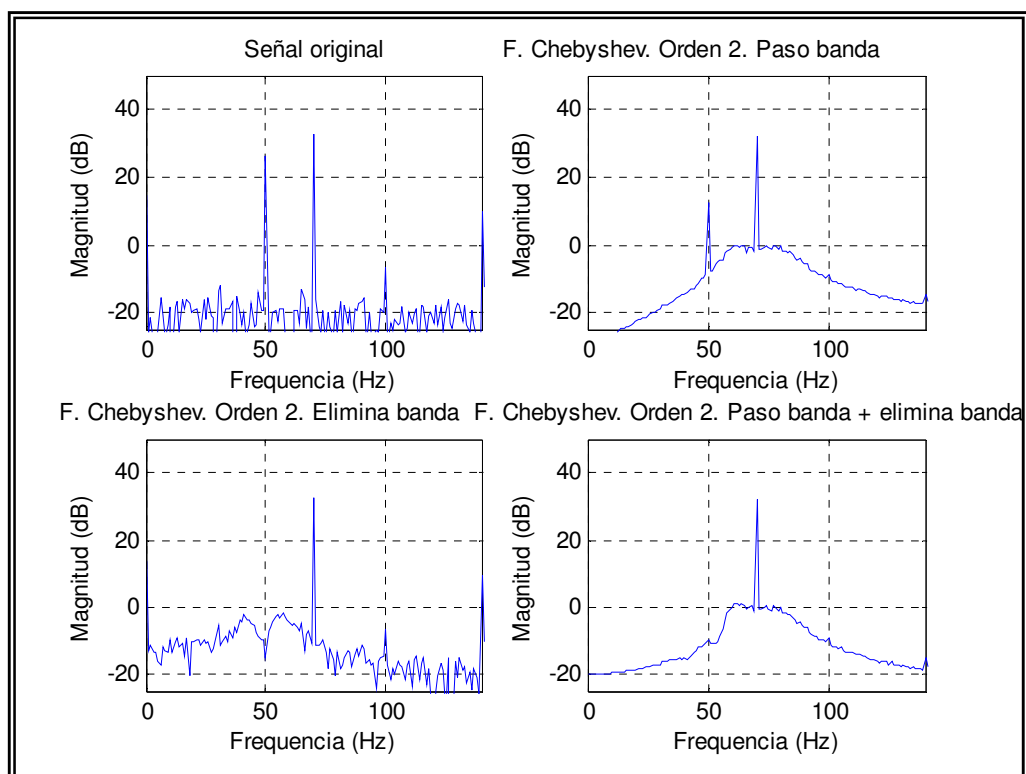


Figura 65. Filtrado Chebyshev de 2^º orden. Señal de 70 Hz

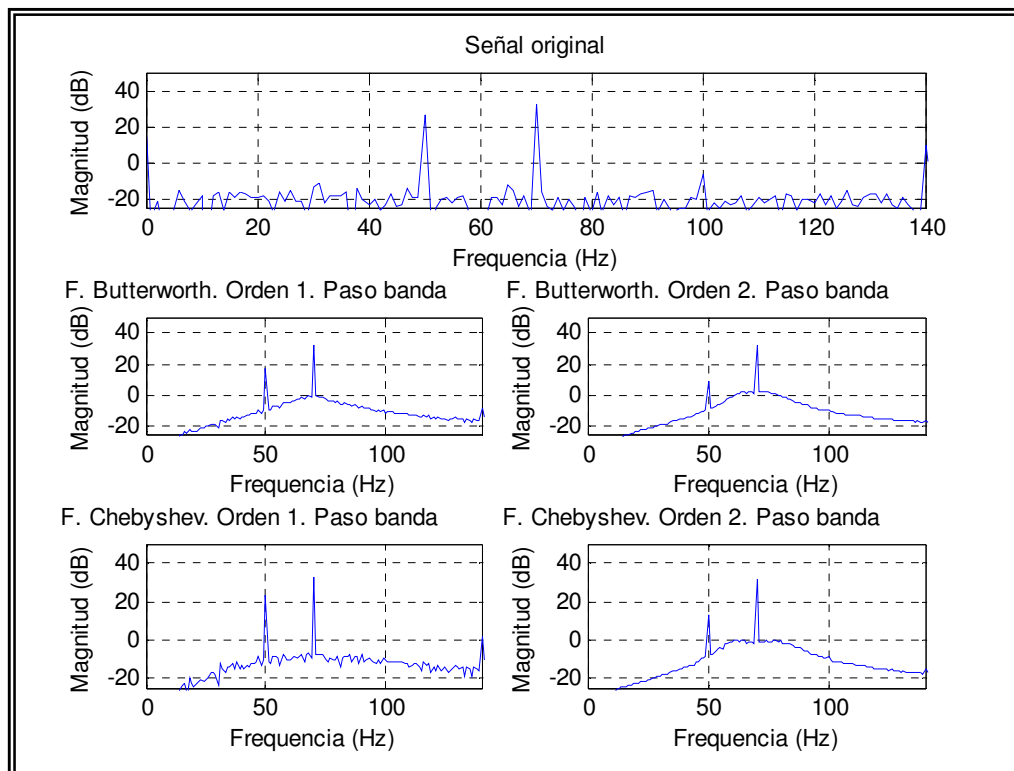


Figura 66. Filtrado paso-banda. Señal de 70 Hz

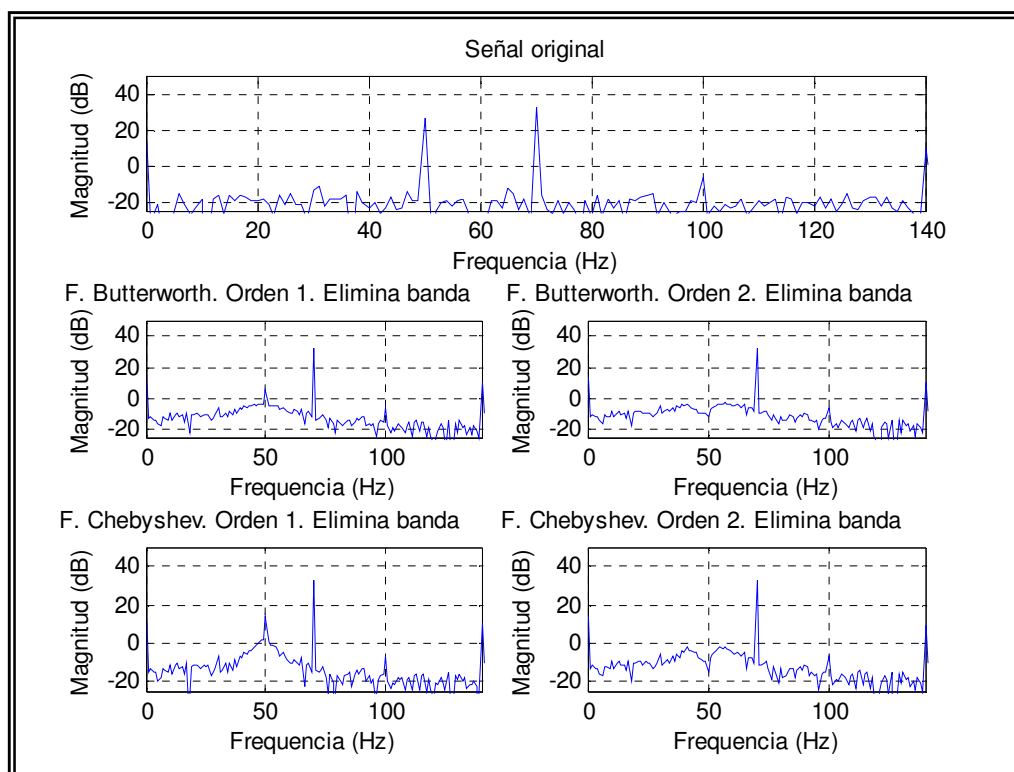


Figura 67. Filtrado elimina-banda. Señal de 70 Hz

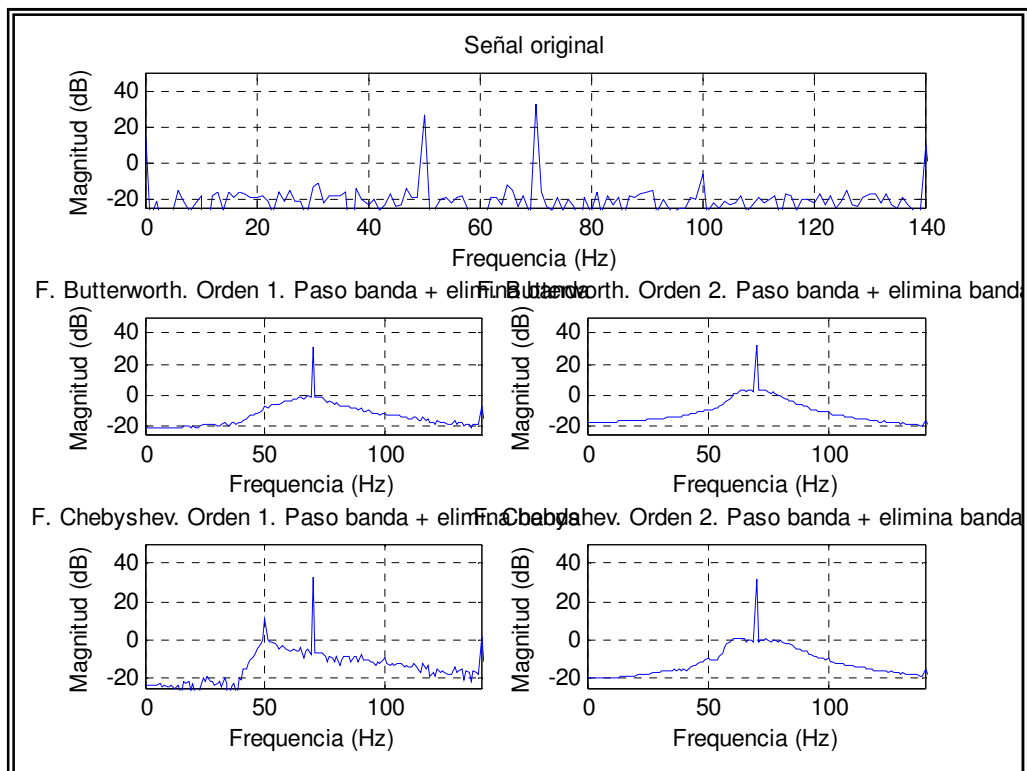
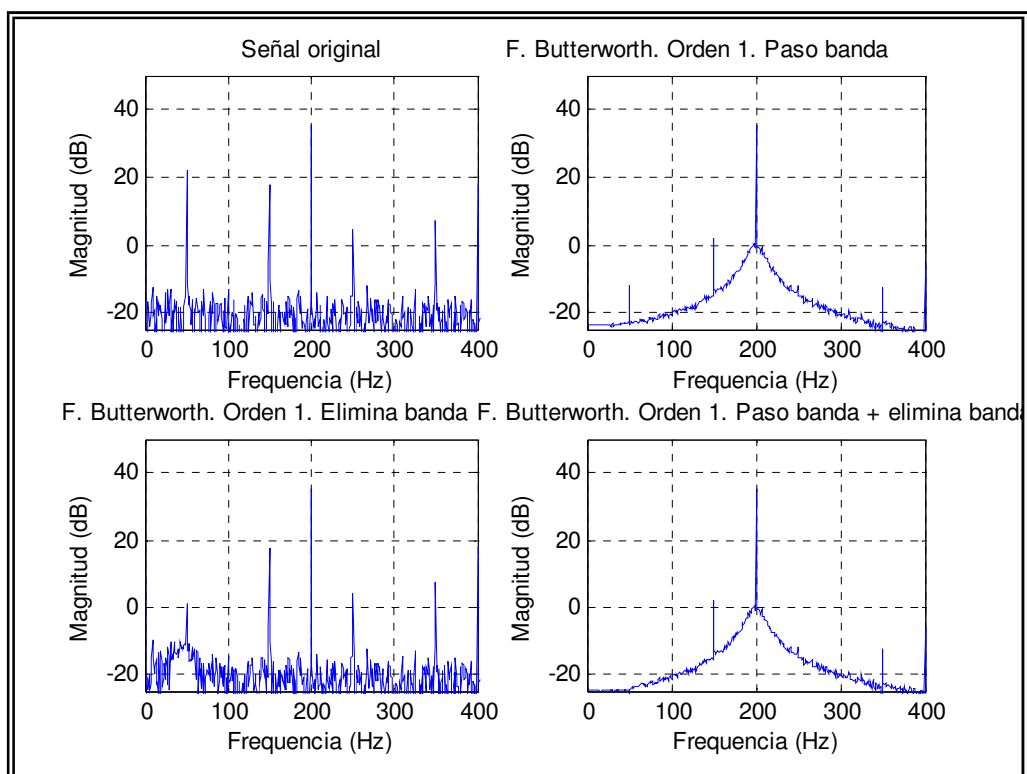


Figura 68. Filtrado paso-banda + elimina-banda. Señal de 70 Hz

Figura 69. Filtrado Butterworth de 1^{er} orden. Señal de 200 Hz

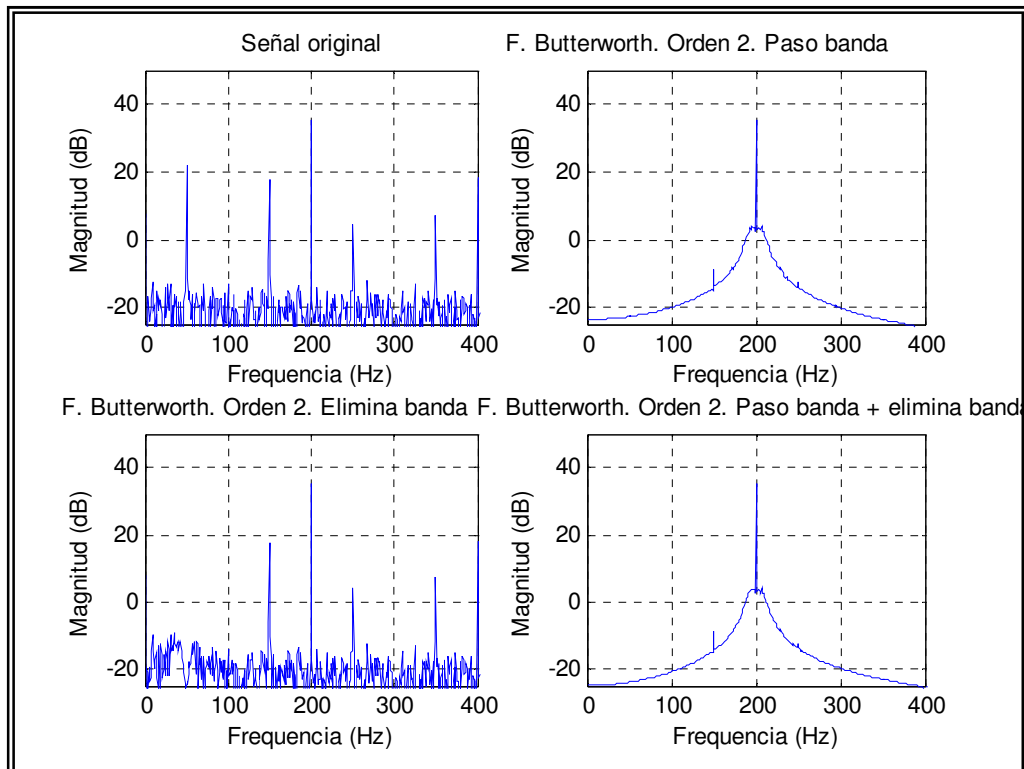


Figura 70. Filtrado Butterworth de 2º orden. Señal de 200 Hz

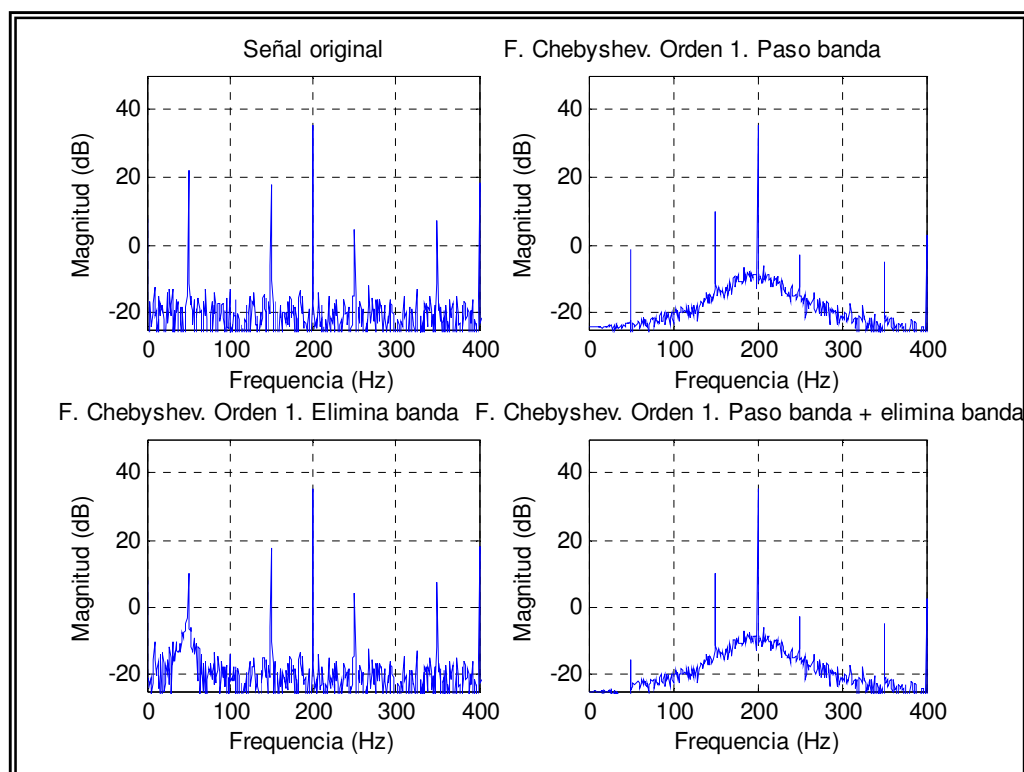


Figura 71. Filtrado Chebyshev de 1º orden. Señal de 200 Hz

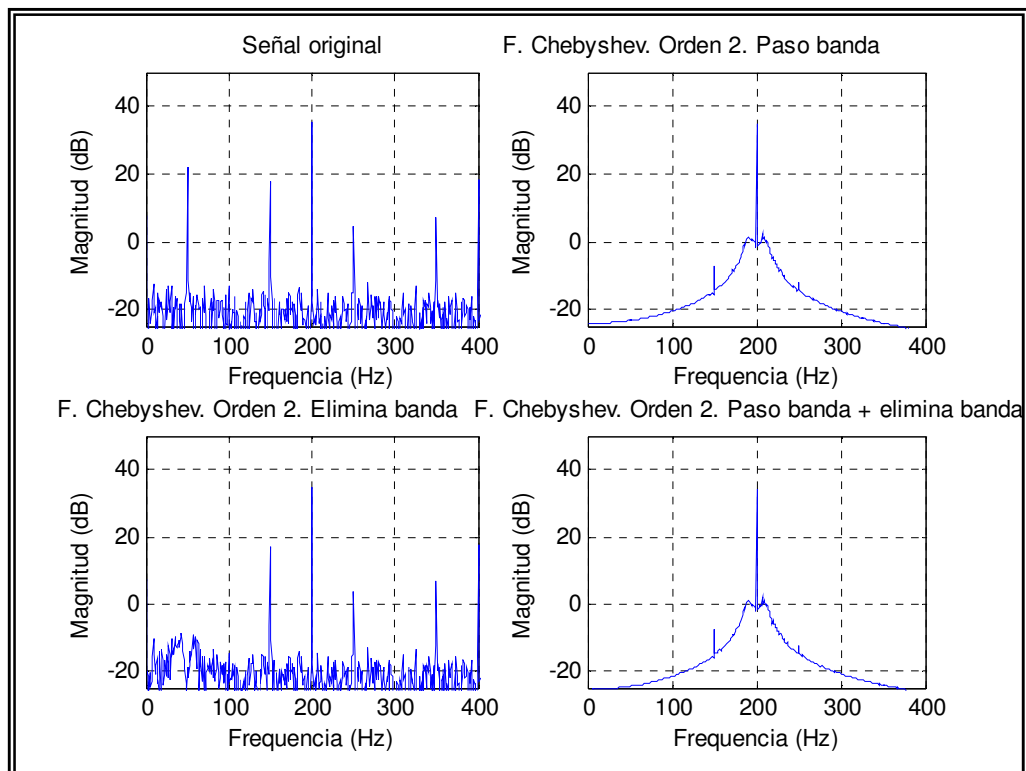


Figura 72. Filtrado Chebyshev de 2º orden. Señal de 200 Hz

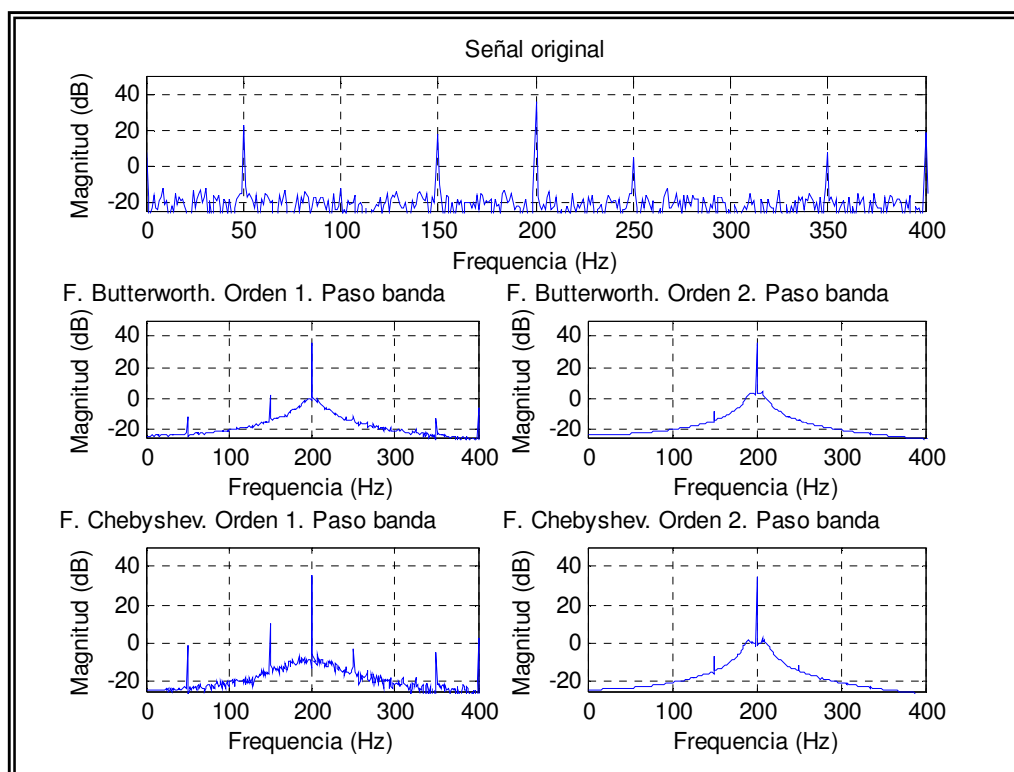


Figura 73. Filtrado paso-banda. Señal de 200 Hz

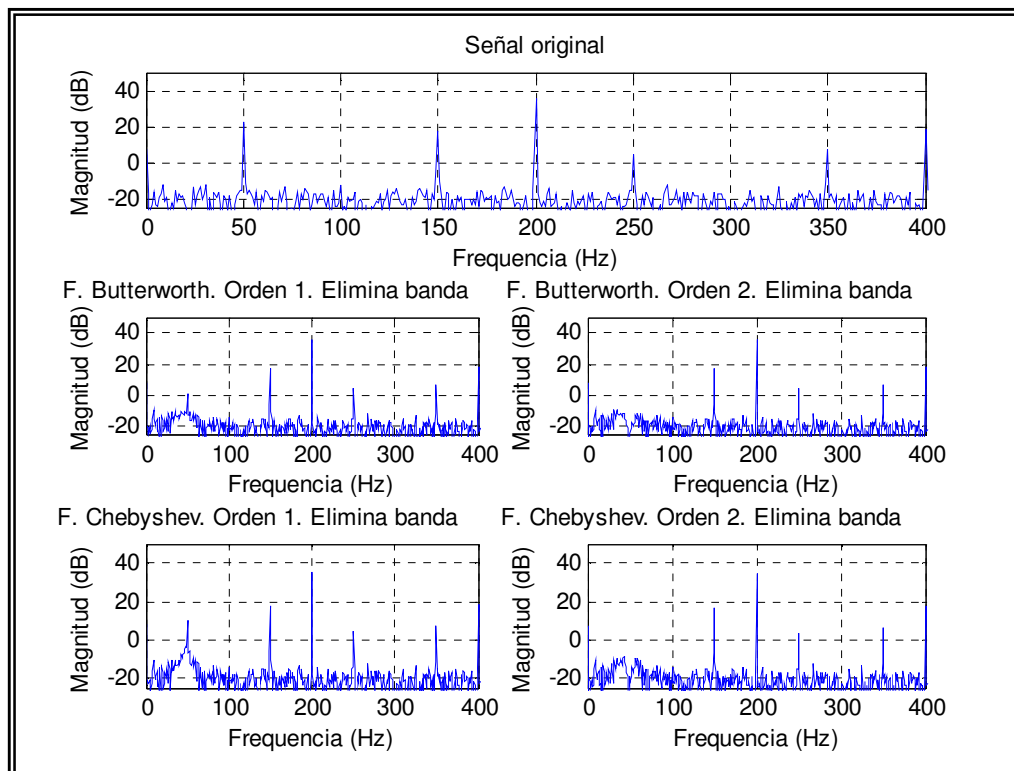


Figura 74. Filtrado elimina-banda. Señal de 200 Hz

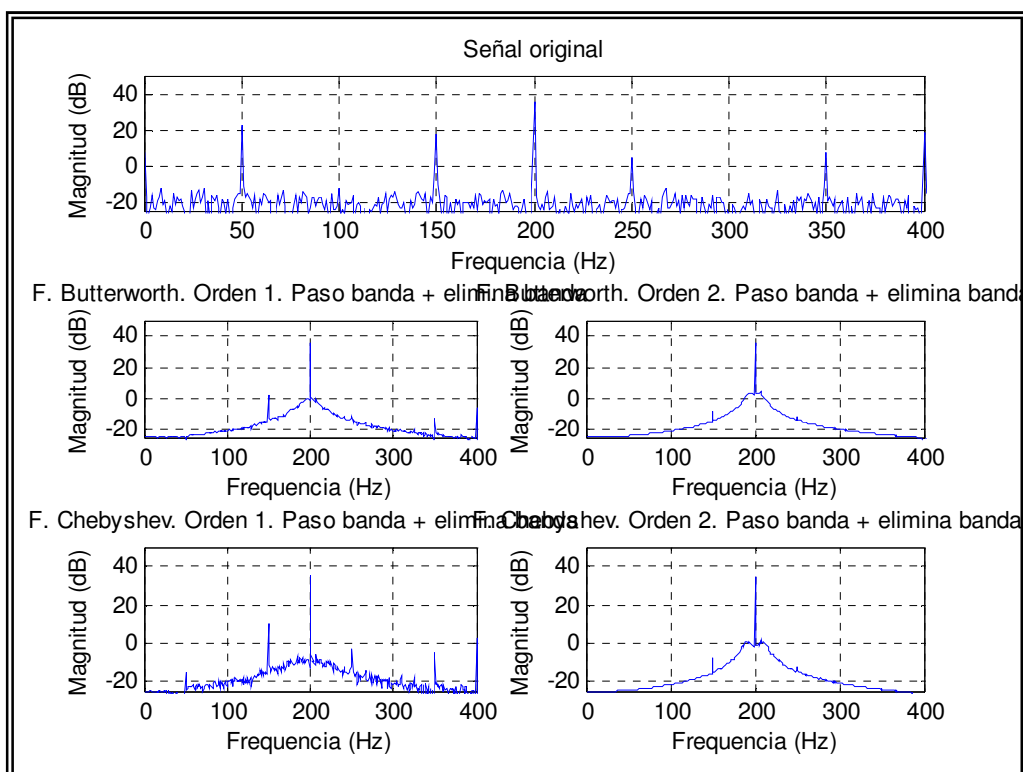


Figura 75. Filtrado paso-banda + elimina-banda. Señal de 200 Hz

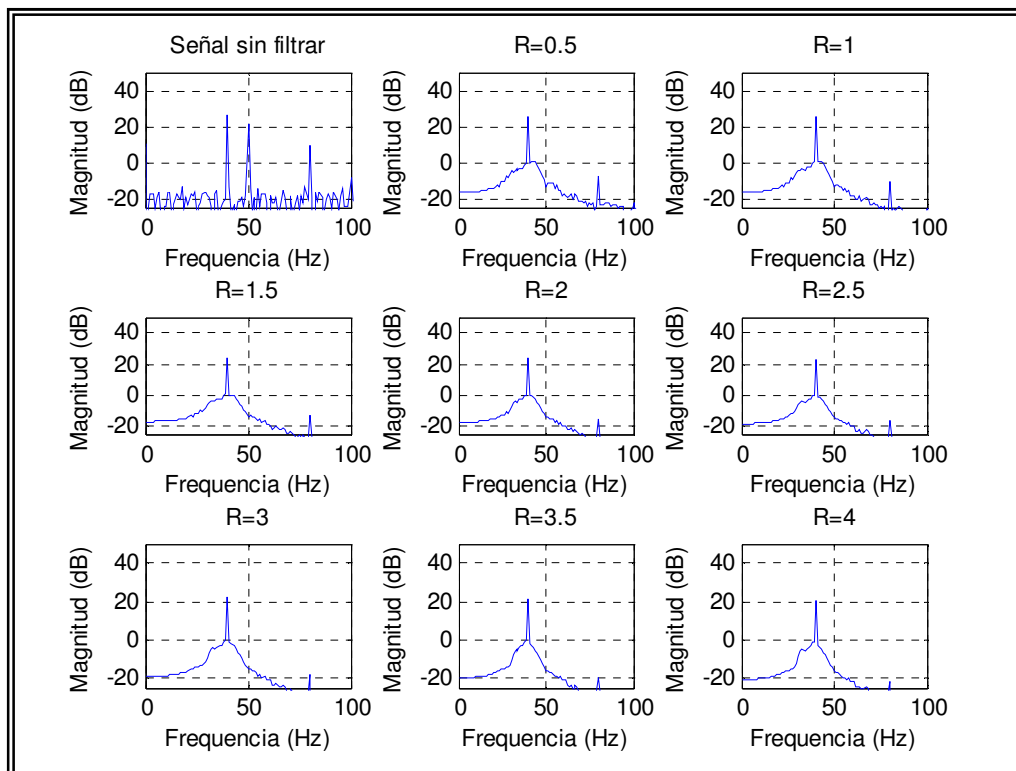


Figura 76. Filtrado de la señal de 40 Hz con distintos valores de R

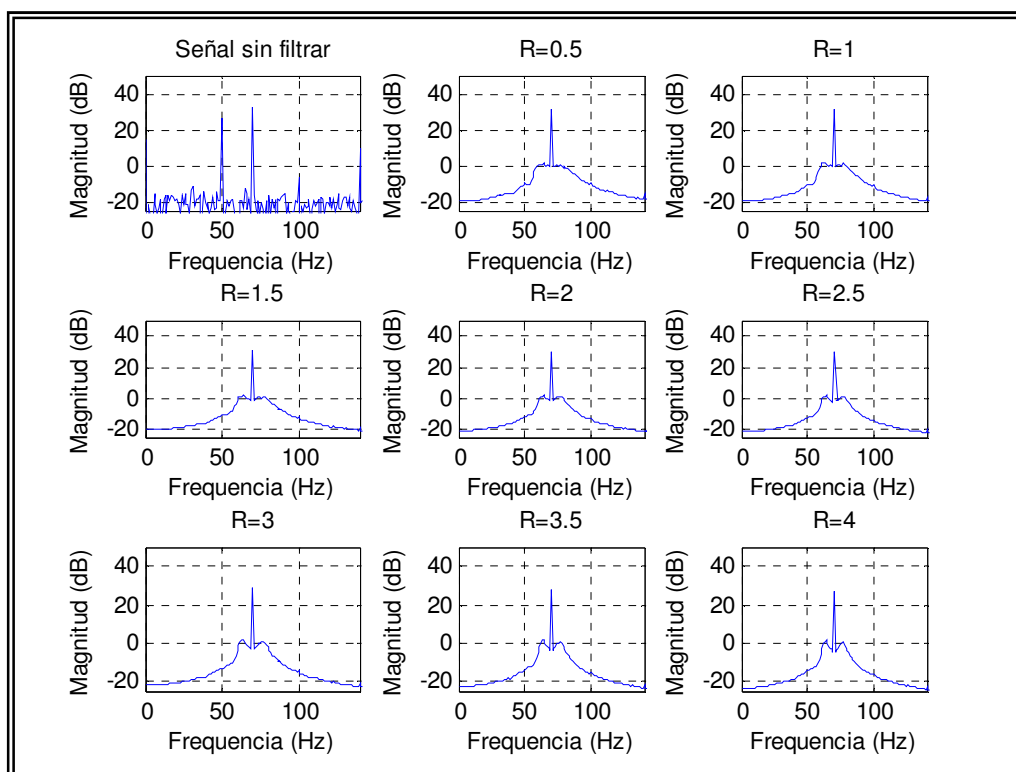
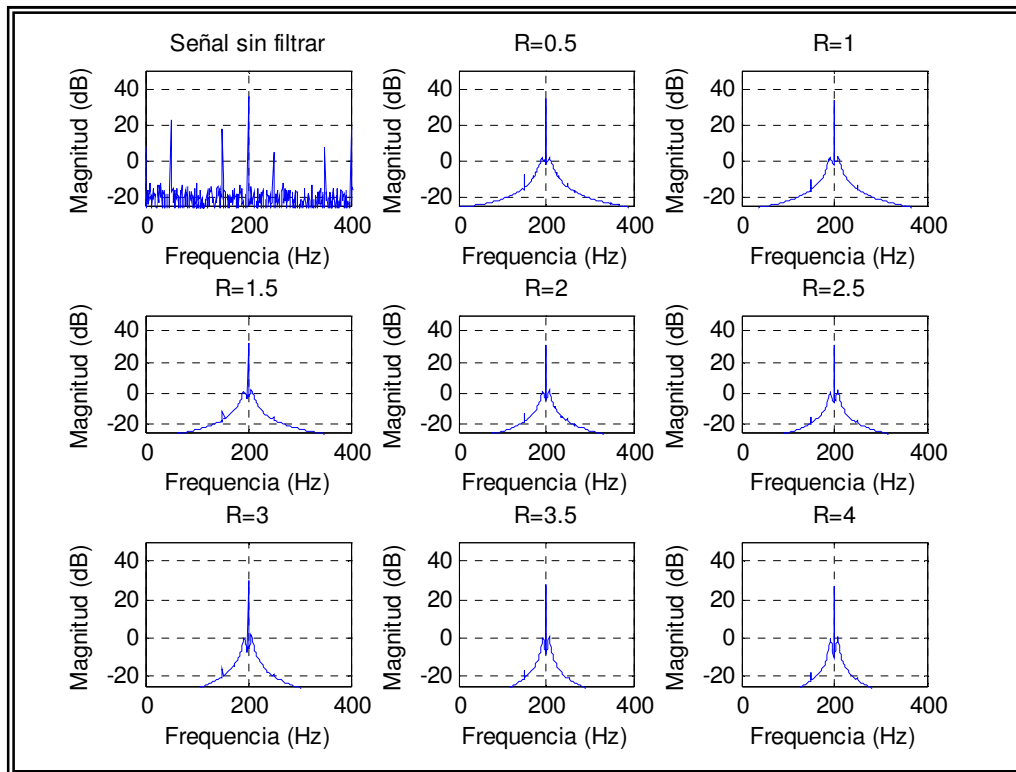


Figura 77. Filtrado de la señal de 70 Hz con distintos valores de R

Figura 78. Filtrado de la señal de 200 Hz con distintos valores de R



Anexo IV. Especificación particular

IV.I Contenido

Esta especificación particular contiene las características que regirán el ensayo de búsqueda de frecuencia crítica de la pieza a estudiar. Aquí se especificarán algunos de los valores de las variables bajo las cuales se realizará el ensayo, así como otros aspectos destacables para la realización del mismo, y las referencias para la aceptación o rechazo del elemento.

IV.II Objetivo

El objetivo de este ensayo es la búsqueda de la frecuencia propia el Air-Box proporcionado, éste corresponde a la moto diseñada por la Universidad Carlos III de Madrid. Mediante un estudio de las respuestas del elemento cuando se ve sometido a vibraciones de distintas características, se quiere establecer el valor de la frecuencia crítica del elemento.



IV.III Tipo de ensayo

Se realizará un ensayo de búsqueda de frecuencia crítica, según la normativa CEI 60068-2-6, de ensayos medio ambientales, pruebas de frecuencia crítica con vibraciones sinusoidales. El eje de vibración será el perpendicular a la base del elemento y evitando los movimientos transversales y rotativos del Air-Box durante el ensayo. El estudio de frecuencias se podrá realizar mediante valores discretos o a través de un barrido del rango de frecuencias.

IV.IV Realización del ensayo

IV.IV.I Antes del ensayo

No será necesario ningún preacondicionamiento, a excepción del obligado por los equipos utilizados para el ensayo. Así mismo se deja a elección del experto la realización del utillaje necesario para la fijación de la pieza a los equipos de excitación y medida, exigiéndose siempre una rigidez apropiada al ensayo.

No será necesaria la realización de medidas antes y después del ensayo, que garanticen la conservación de las características funcionales y dimensionales, bastará con una inspección visual del Air-Box

IV.IV.II Pilotaje

Será necesario realizar el pilotaje de la señal de salida, este se realizará a partir de un solo punto situado en la superficie triangular de vértices redondeados, la localización se deja a elección del experto.

También será necesario realizar el pilotaje de la señal de excitación del Air-Box, la elección del mismo se deja a criterio del ensayista, al depender esta del método de fijación al equipo vibrador, exigiéndose siempre que la elección proporcione datos fieles a los de la señal de entrada a la pieza.



IV.IV.III Severidad del ensayo

El rango de frecuencias mínimo que se estudiará será [100 Hz, 1 000 Hz], ofreciéndose la posibilidad de aumentarlo si se considerase necesario hasta un rango máximo de [1 Hz, 5 000 Hz]. En lo referente a la amplitud de la vibración se permite que esta oscile o se mantenga constante en las tomas de datos, siempre que la tensión pico-pico sea superior a los 2 V, e inferior a los 6 V. Además se da total libertad para la duración de la toma de datos, siempre que el tiempo escogido permita obtener valores representativos.

IV.IV.IV Fases del ensayo

Este ensayo se realizará en un mínimo de 2 fases, la fase I y III serán obligatorias considerándose la fase II opcional, y pudiéndose repetir cualquiera de ellas si se entendiese necesario.

Fase I. Corresponde con la primera toma de datos, se realizará el estudio sobre el rango de frecuencia total del ensayo y no será necesario comprobar los resultados obtenidos si estos tienen un comportamiento regular.

Fase II. Esta fase del ensayo es opcional, y se realizará en caso de que un rango de datos de la primera fase manifestase un comportamiento irregular y no fuese posible predecir un valor aproximado de la frecuencia crítica. En esta base se comprobará la bondad de los datos mediante cualquier procedimiento que el personal considere acertado, será necesario repetir esta fase siempre que no sea posible prever un valor aproximado para la frecuencia crítica.

Fase III. Esta última fase tendrá como única finalidad fijar la frecuencia propia del elemento. Si se considera la frecuencia f_i estudiada en las fases anteriores como valor aproximado de la frecuencia crítica, el rango de datos estudiado en esta última fase será $[f_{i-1}, f_{i+1}]$, en el intervalo se estudiará el número necesario de frecuencias que asegure el cumplimiento de las tolerancias marcadas por la normativa.

IV.V Criterios de aceptación

La pieza será aceptada si su frecuencia crítica es tal que no existe la posibilidad de resonancia en condiciones normales de funcionamiento.



Anexo V. Informe de ensayo

Laboratorio UAL

Campus de la UAL

Ctra. Sacramento S/N

04120 Almería

Fecha: 25-febrero-2011

Expediente: 11/32001274

V.I Peticionario

Equipo Moto-MaqLab-Uc3m

Av. de la Universidad 30

28911 – Leganés – Madrid

V.II Objetivo del ensayo

Se ha realizado un ensayo de búsqueda de frecuencia propia, mediante la aplicación de vibraciones sinusoidales a distintas frecuencias se ha estudiado el efecto producido en el elemento estudiado. Mediante este estudio se ha conseguido establecer un valor para la



frecuencia crítica que permite predecir su comportamiento en condiciones normales de funcionamiento.

Fecha de recepción: Octubre-2010

Material recibido: Air-Box de moto (ver plano 1)

Fecha de inicio de los ensayos: 17-Diciembre-2010

Fecha de final de los ensayos: 31-Enero-2010

Normativa aplicada: CEI 60069-2-6

V.III Necesidades materiales

Para llevar a cabo la fijación entre la pieza y el equipo de vibración ha sido necesaria la creación de un utillaje particular, éste consiste fundamentalmente en una chapa de acero galvanizado de 0,7 mm de espesor, con la forma y dimensiones expuestas en el plano 3. Este utillaje está diseñado para poder anclarse tanto al equipo de vibración como a la pieza estudiada.

A continuación se listan en la siguiente tabla los equipos utilizados en este ensayo, todos ellos cumplen con las tolerancias e incertidumbres de medida impuestas por la CEI 60068-2-6:2007.

Equipos utilizados		
Equipo	Certificado de calibración	Fecha de próxima calibración
Generador de señales Agilent 33220A	33220A MY44023308	6-septiembre-2011
Amplificador de potencia PA100E	PA100E RM 93622175	11-agosto-2011
Mesa de vibración V406/8	V400 RM 89230192	11-agosto-2011
Acelerómetro 352C03	J352C03 SN 100118	21-octubre-2012
Acondicionador de señal 482C05	482C05 SN 003C10	21-octubre-2012
Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6251 Screw Term	USB6251 N114 1252D0D	25-septiembre-2011

Tabla I. Relación de equipos utilizados y datos sobre su calibración

V.IV *Lectura de la señal*

Para pilotar el comportamiento del Air-Box se han de diferenciar dos casos. El pilotaje de la señal de excitación que se realiza a partir de 2 puntos, (A y B), aceptando como valor nominal la media entra ambos. Y el pilotaje de la respuesta del Air-Box a la vibración, que se realiza a partir de un solo punto P. Las posiciones a las cuales corresponden estos puntos de pilotaje se muestran en la Figura I.

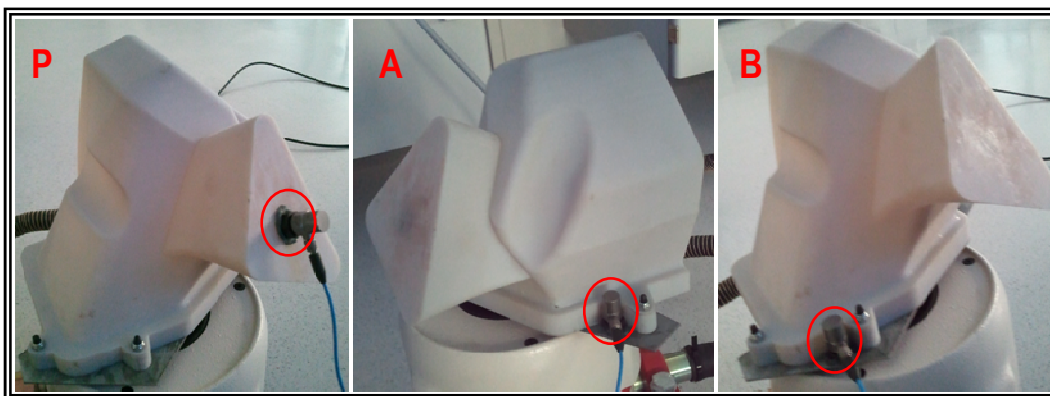


Figura I. Posiciones de pilotaje

Además durante la realización de las pruebas iniciales se decidió la conveniencia de realizar el filtrado de las señales adquiridas, tras hacer pruebas con distintos filtros se deciden aplicar a los datos dos filtros. Ambos serán filtros Chebyshev de tipo I y segundo orden, que tendrán un ancho de banda de 18 Hz. En primer lugar se aplicará a los datos un filtro elimina-banda con frecuencia central de 50 Hz, tras él actuará un filtro paso-banda con frecuencia central la de excitación.

V.V *Realización del ensayo*

En ensayo se realiza en las 3 fases expuestas en la especificación particular y según las características expuestas en este informe.

V.V.I Fase I

Fase I del ensayo	
Tipo de onda:	Seno
Amplitud de la onda:	2 V _{pp}
Frecuencias estudiadas:	10; 11; 13; 16; 18; 20; 24; 27; 32; 36; 42; 48; 57; 64; 74; 87; 100; 110; 130; 160; 180; 200; 240; 270; 320; 360; 420; 480; 570; 640; 740; 870; 1 000; 2 000
Duración:	30 s (de espera) + 60 s
Magnitud estudiada:	Ganancia

Tabla II. Características de la fase I

$$G = \frac{V_{media,P}}{(V_{media,A} + V_{media,B})/2}$$

Ec. I

Se representa gráficamente el resultado de los datos obtenidos en esta fase.

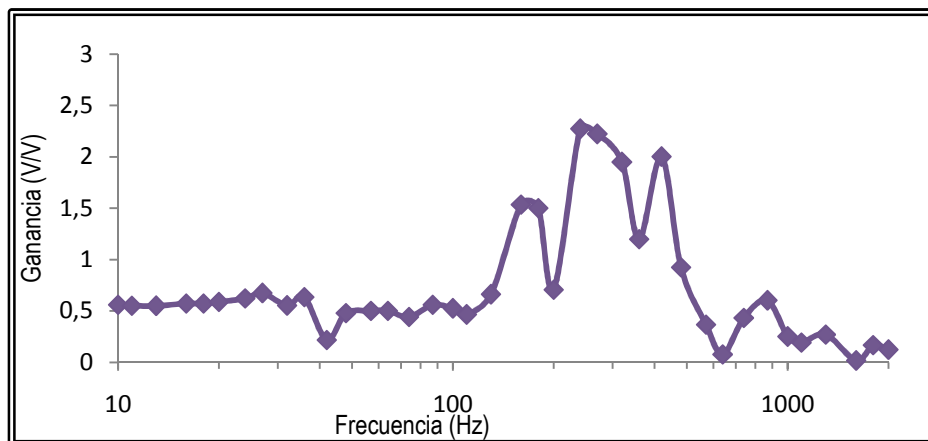


Figura II. Resultados de la fase I

Se considera que el intervalo [100 Hz, 1000 Hz] presenta un comportamiento irregular por lo que se lleva a cabo la fase II (opcional) centrando el estudio en este rango de frecuencias.

V.V.II Fase II

Fase II del ensayo	
Tipo de onda:	Seno
Amplitud de la onda:	$2 V_{pp}$
Frecuencias estudiadas:	100; 107; 115; 124; 133; 143; 154; 165; 178; 191; 205; 220; 237; 255; 274; 294; 316; 340; 365; 392; 421; 453; 487; 523; 562; 604; 649; 698; 750; 806; 866; 930; 1 000
Duración:	30 s (de espera) + 60 s
Magnitud estudiada:	Ganancia

Tabla III. Características de la fase II

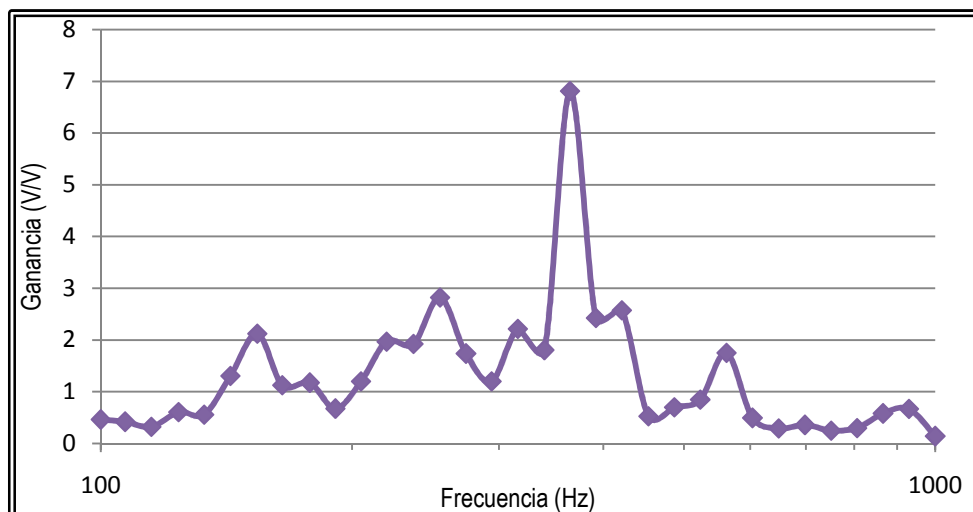


Figura III. Resultados de la fase II

Del resultado de esta fase se obtiene la elección de 365 Hz, como valor aproximado de la frecuencia crítica, por esto estudiará en la fase III, un intervalo aproximado y nunca inferior a [340 Hz, 392 Hz].

V.V.III Fase III

Fase III del ensayo	
Tipo de onda:	Seno
Amplitud de la onda:	$2 V_{pp}$
Frecuencias estudiadas:	340; 341,75; 343,5; 345,25; 347; 348,75; 350,5; 352,25; 354; 355,75; 357,5; 359,25; 361; 362,75; 364,5; 366,25; 368; 369,75; 371,5; 373,25; 375; 376,75; 378,5; 380,25; 382; 383,75; 385,5; 387,25; 389; 390,75; 392,5
Duración:	30 s (de espera) + 60 s
Magnitud estudiada:	Ganancia

Tabla IV. Características de la fase III

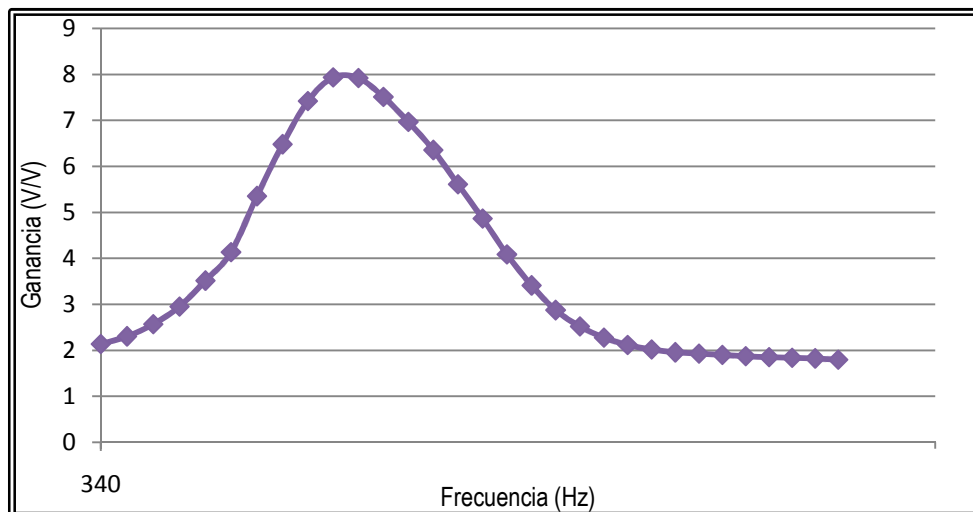


Figura IV. Resultados de la fase III

Tras esta fase podemos afirmar que la frecuencia crítica corresponde a los 355,75 Hz.

V.V.IV Resultado y conclusiones

Se muestra a continuación el resultado final del ensayo, tras la realización de las 3 fases del mismo y la aplicación de los coeficientes necesarios debidos a la desalineación del eje del acelerómetro en el punto P, respecto al A y B.

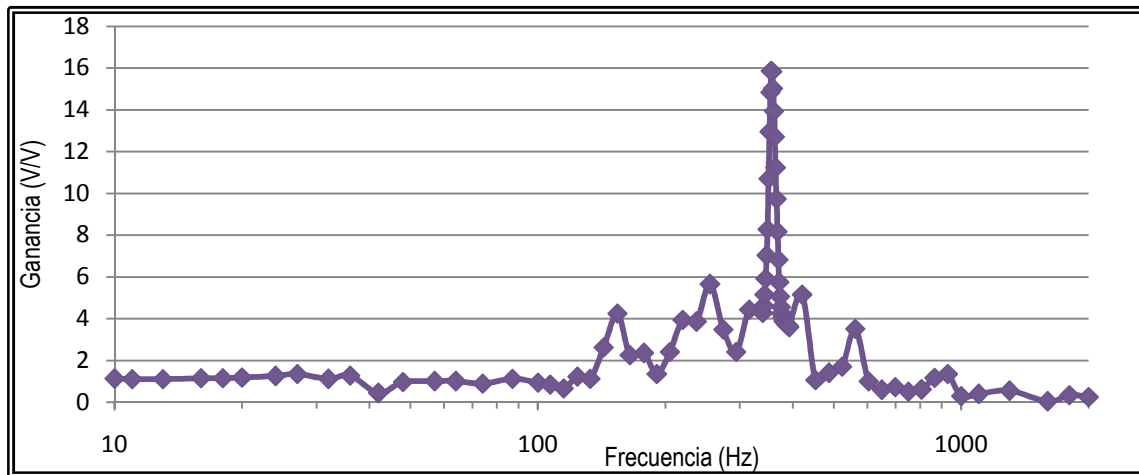


Figura V. Resultado del ensayo

La frecuencia crítica de 355,75 Hz corresponde con más de 21 000 rpm, velocidad que no se espera en ninguno de los componentes de la moto, por lo que la pieza es aceptada.